

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005 年 3 月 10 日 (10.03.2005)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2005/022719 A1

(51) 国際特許分類: H02K 5/04

KAISHA) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内
二丁目 2 番 3 号 Tokyo (JP).

(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/011253

(22) 国際出願日: 2004 年 8 月 5 日 (05.08.2004)

(72) 発明者; および

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2003-308373 2003 年 9 月 1 日 (01.09.2003) JP

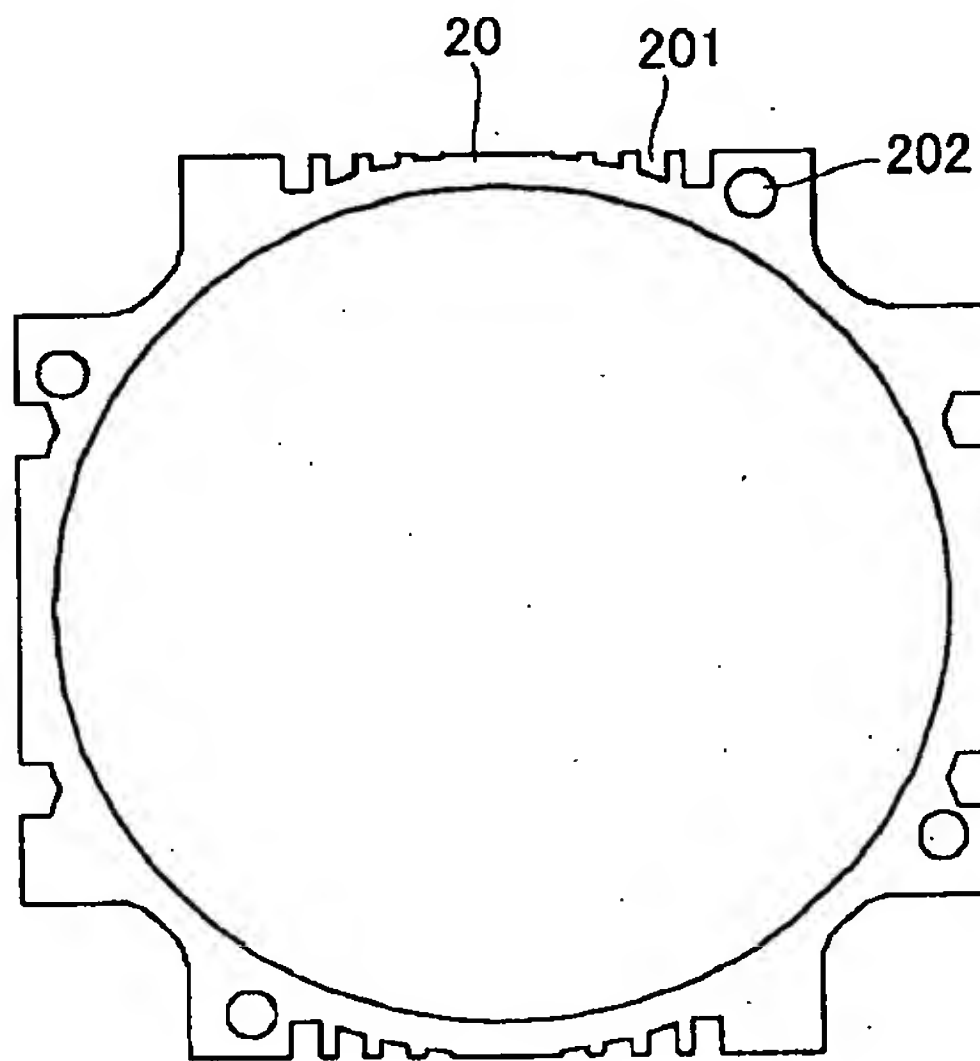
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 山口 信一 (YAMAGUCHI, Shinichi) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 米谷 晴之 (KOMETANI, Haruyuki) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 藤野 千代 (FUJINO, Chiyo) [JP/JP]; 〒1050013 東京都港区浜松町 1 丁目 1 7 番 6 号 東京戸張ビル 3 階 サンエール技研株式会社内 Tokyo (JP). 菊池 友弘 (KIKUCHI, Tomohiro) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 宮崎 高志 (MIYAZAKI,

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI

[続葉有]

(54) Title: ROTATING ELECTRIC MACHINE

(54) 発明の名称: 回転電機



(57) Abstract: A rotating electric machine comprises a stator having a frame (20) where the number of stator slots N_s is equal to 12, and a rotor arranged in the inner space of the stator where the number of rotor poles N_p is equal to 8. Stress relaxing air gaps (201, 202) are arranged at a part of the frame not to have rotational symmetry of mechanical angle 90° as that the sum P of the contents of k -order component T_k and N_p -order component T_{N_p} of Fourier series expansion coefficient of the frame thickness $T(\theta)$ as shown by expression (2) becomes 12% or less when the frame thickness $T(\theta)$ at a mechanical angle θ around the inner circumferential center of the frame with reference to a line connecting that center and an arbitrary point other than the center is expanded into Fourier series while assuming the difference between the number of stator slots N_s and the number of rotor poles N_p is $k(=|N_s-N_p|)$. (2) According to the arrangement, it is possible to reduce cogging torque resulting from a strain in the magnetic circuit of a core caused by the frame shape while maintaining mechanical strength and machinability of the frame.

$$P = (T_k + T_{N_p}) / \sum_{n=0}^{\infty} T_n \times 100 [\%] \quad (2)$$

[続葉有]

WO 2005/022719 A1



Takashi) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 高橋 省吾, 外 (TAKAHASHI, Shogo et al.); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号三菱電機株式会社 知的財産センター内 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約:

フレーム20を有し固定子スロット数Nsが12である固定子と、固定子の内部空間に配置され回転子極数Npが8である回転子とを備える回転電機において、フレームの内周の中心と、中心以外の任意の点を結ぶ線を基準とした上記中心点の周りの機械角度 θ におけるフレーム厚 $T(\theta)$ を円周方向にフーリエ級数展開し、固定子スロット数Nsと回転子磁極数Npとの差を $k(=|Ns-Np|)$ としたときに、(2)式で示されるフレーム厚 $T(\theta)$ のフーリエ級数展開係数の k 次成分 T_k と Np 次成分 T_{Np} の各含有率の和Pが12%以下となるように、フレームの一部に機械角度 90° の回転対称性を有さない配置で、応力緩和用空隙部201,202を設けて構成されている。

$$P = (T_k + T_{Np}) / \sum_{n=0}^{\infty} T_n \times 100 [\%] \quad (2)$$

この構成によって、フレームの機械強度、工作性を保持しつつ、フレーム形状に起因して発生する鉄心の磁気回路の歪からくるコギングトルクを低減することができる。

明 細 書

回転電機

技術分野

- [0001] 本発明は、フレームを有する回転電機に関するものであり、特に、フレームの形状に関するものである。

背景技術

- [0002] コギングトルクの発生する要因の1つとして固定子コア(以下、固定子鉄心ということもある。)の回転子回転方向(以下、単に回転方向と言うこともある。)の応力分布に起因する回転子回転軸中心周りの磁気特性の非対称性(磁気回路の歪)が挙げられる。このような固定子コア内の応力分布は、フレームによる不均一な締め付けが原因と考えられる。これは、主に、フレームの回転子回転軸周りの肉厚の不均一性に起因している。一般的に、矩形フレーム(外形が四角柱形状であるフレーム)が多用される傾向にあり、上記のような肉厚不均一による応力発生の主因となっている。
- [0003] 上記のような固定子コアの磁気回路の歪みに起因するコギングトルクに着目した従来の回転電機においては、金属製フレームを有する固定子と、固定子の内部空間に配置される回転子と、回転子を軸方向の両側から回転自在に支持する負荷側および反負荷側ハウジングとで構成されてなるサーボモータにおいて、金属製フレームをフィンに有する形状にして、フィン底部のフレーム本体の肉厚を略均一にし、加熱したこの金属製フレームに鉄心を挿入した後冷却して固定する焼きバメ固定、あるいは金属製フレームと鉄心とを加熱硬化型接着剤で固定する接着固定で固定子を製作した場合に、鉄心に歪みを与えるのを防止し、コギングトルクの悪化を防止している(例えば、特許文献1参照)。

- [0004] 特許文献1:特開2001-95199号公報(第1頁、第1図)

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0005] 従来の回転電機は、以上のように構成されており、外形が四角柱である金属製フレーム本体の肉厚(以下、フレーム厚ということもある。)を略均一とするためには、外形

が矩形形状であることから、機械角度 90° の回転対称性(90° 回転する毎に同一形状となる。)を有するようなフィン付きの構造とする必要があり、全体的に肉厚が薄くなることによる機械強度不足、フィンを多数形成しなければならないことによる工作性の低下等の問題があった。

- [0006] 本発明は、上記のような従来のものの問題点を解決するためになされたものであり、フレームの機械強度、工作性を保持しつつ、フレーム形状に起因して発生する鉄心の磁気回路の歪からくるコギングトルクを低減することが可能な回転電機を提供することを目的とするものである。

課題を解決するための手段

- [0007] 本発明に係る回転電機は、フレームを有し固定子スロット数 N_s が12である固定子と、該固定子の内部空間に配置され回転子極数 N_p が8である回転子とを備える回転電機において、上記フレームの内周の中心と、中心以外の任意の点を結ぶ線を基準とした上記中心点の周りの機械角度 θ におけるフレーム厚 $T(\theta)$ を(1)式のように円周方向にフーリエ級数展開し、

- [0008] [数1]

$$T(\theta) = \sum_{n=0}^{\infty} T_n \cos(n\theta + \phi_n) \quad (1)$$

(但し、 $n=0, 1, 2, 3, \dots$ 、 T_n は $T(\theta)$ を(1)式のようにフーリエ級数展開した場合におけるフレーム厚の n 次成分の大きさ、 ϕ_n は位相である。)

固定子スロット数 N_s と回転子磁極数 N_p との差を $k(=|N_s - N_p|)$ としたときに、(2)式で示されるフレーム厚 $T(\theta)$ のフーリエ級数展開係数の k 次成分 T_k と N_p 次成分 T_{N_p} の各含有率の和 P が12%以下となるように、上記フレームの一部に機械角度 90° の回転対称性を有さない配置で、空隙部を設けて構成されているものである。この空隙部は、フレームから回転子へかかる応力を緩和するためのもので、応力緩和用空隙部である。

- [0009] [数2]

$$P = (T_k + T_{Nd}) / \sum_{n=0}^{\infty} T_n \times 100 [\%] \quad (2)$$

発明の効果

- [0010] フレーム厚の回転子回転軸周りの非対称性に起因する、固定子コア内の応力分布の不均一性によって生じるコギングトルク極数成分を、フレーム厚の回転非対称性を残しつつも、効果的に抑制することができる。

図面の簡単な説明

- [0011] [図1]本発明の実施の形態1に係り、応力緩和用空隙部が設けられていないフレームを示す正面図である。
- [図2]本発明の実施の形態1に係り、応力緩和用空隙部が設けられたフレームの一例を示す正面図である。
- [図3]本発明の実施の形態1に係り、応力緩和用空隙部が設けられたフレームの別の例を示す正面図である。
- [図4]本発明の実施の形態1に係り、応力緩和用空隙部が設けられたフレームのさらに別の例を示す正面図である。
- [図5]本発明の実施の形態1による回転電機に用いられる固定子の形状を説明する正面図である。
- [図6]本発明の実施の形態1による回転電機に用いられる回転子を示す正面図である。
- [図7]本発明の実施の形態1に係り、フレームの位置 θ とフレーム厚 $T(\theta)$ との関係を説明する図である。
- [図8]本発明の実施の形態1に係り、図1のフレームのフレーム平均厚に対する各フレームの位置 (θ) におけるフレーム厚 $(T(\theta))$ の百分率を示す曲線図である。
- [図9]本発明の実施の形態1に係り、図2のフレームのフレーム平均厚に対する各フレームの位置 (θ) におけるフレーム厚 $(T(\theta))$ の百分率を示す曲線図である。
- [図10]本発明の実施の形態1に係り、図3のフレームのフレーム平均厚に対する各フレームの位置 (θ) におけるフレーム厚 $(T(\theta))$ の百分率を示す曲線図である。

[図11]本発明の実施の形態1に係り、図4のフレームのフレーム平均厚に対する各フレームの位置(θ)におけるフレーム厚($T(\theta)$)の百分率を示す曲線図である。

[図12]本発明の実施の形態1に係り、図1のフレームのフレーム平均厚に対する各フレームの位置(θ)における有効フレーム厚($T(\theta)$)の百分率を示す曲線図である。

[図13]本発明の実施の形態1に係り、図2のフレームのフレーム平均厚に対する各フレームの位置(θ)における有効フレーム厚($T(\theta)$)の百分率を示す曲線図である。

[図14]本発明の実施の形態1に係り、図3のフレームのフレーム平均厚に対する各フレームの位置(θ)における有効フレーム厚($T(\theta)$)の百分率を示す曲線図である。

[図15]本発明の実施の形態1に係り、図4のフレームのフレーム平均厚に対する各フレームの位置(θ)における有効フレーム厚($T(\theta)$)の百分率を示す曲線図である。

[図16]本発明の実施の形態1に係り、有効フレーム厚の k 次成分 T_k 含有率と N_p 次成分 T_{N_p} 含有率との和 P と1回転当たり8山のコギングトルク成分の関係を示す曲線図である。

[図17]本発明の実施の形態2によるフレームの一例を示す正面図である。

[図18]本発明の実施の形態3によるフレームの一例を示す正面図である。

[図19]本発明の実施の形態4によるフレームの一例を示す斜視図である。

[図20]本発明の実施の形態4によるフレームの一例を示す側面図である。

符号の説明

- [0012] 20 フレーム、201 応力緩和溝、202, 202a, 202b 応力緩和穴、21 固定子鉄心、22固定子巻線、31 永久磁石、32 回転子鉄心。

発明を実施するための最良の形態

- [0013] 実施の形態1.

図1に示すような、比較基本とするための応力緩和用空隙部が設けられていない金属性(一例としてアルミニウム製)のフレーム20に、図5に示すような、固定子スロット数 N_s が12である固定子鉄心(固定子コア)21の焼ばめを行い、図6に示すような、回転子極数 N_p が8である回転子を取り付け、コギングトルク波形の測定およびコギングトルク波形の周波数分析を実施した。その結果、フレーム形状に起因して発生すると考えられる1回転当たり8山のコギングトルク成分(N_p 次成分)が大きいことが観測さ

れた。

この1回転当たり8山のコギングトルク成分(N_p 次成分)を低減することが重要である。そこで、以下では、1回転当たり8山のコギングトルク成分(以下、単に、コギングトルク8山成分と言うこともある。)のみに着目する。

[0014] このコギングトルク8山成分は、固定子コア21の磁気特性(パーミアンス)に回転非対称性がある場合に発生するものである。この固定子コア21の非対称性は、フレーム20の肉厚の不均一性に起因して、固定子の回転子回転軸中心の周りに応力分布の不均一性(以下、応力不均一性と言う。)が生じ、この応力不均一に伴い磁気特性の不均一性が生じたため、固定子コア2の磁気特性にも回転非対称性(歪)が生じたものと考えられる。

[0015] 一方、1回転当たり8山のコギングトルク成分は、後述する理由により、フレーム厚のフーリエ級数展開係数の内、極数とスロット数の差に対応する k 次成分、および回転子極数に対応する N_p 次成分に大きく依存していると考えられる。

[0016] 上記のように、コギングトルク8山成分のみに着目したところ、次の点を見出した。

$T(\theta)$ を、フレームの内周の中心(回転電機は、フレームの内周の中心と回転子回転軸中心とが一致するように組み立てられる。)と、中心以外の任意の点を結ぶ線を基準とした上記中心点の周りの機械角度 θ におけるフレーム厚とする。この $T(\theta)$ を円周方向にフーリエ級数展開したときの、 k 次成分 T_k と N_p 次成分 T_{N_p} の各含有率の和 P に着目し、この値とコギングトルク8山成分の大きさの相関を見た。ただし、固定子スロット数を N_s 、回転子磁極数を N_p 、両者の差を $k(=|N_s-N_p|)$ とした。

図1〜図4に示す各種フレーム形状に対する結果を、表1および図16に示す。

[0017] 図1〜図4に示すフレーム形状は、本発明の発明者らが今回試作評価を実施したものである。フレーム20としては、例えばアルミニウム等の金属製フレームが挙げられ、例えばサーボモータの場合、フレーム20の外形を略四角柱形状(回転子の回転軸あるいはフレーム内周の中心軸に直交する断面における外形が略矩形状)とするのが主流である。図1〜図4に示したフレームは、回転子の回転軸(フレーム内周の中心軸)に直交する断面における外形が略正形状である。図1は、応力緩和用空隙部が設けられていない基本フレームであり、図2〜図4はコギングトルク(フレーム形

状に起因して発生する鉄心の磁気回路の歪からくるコギングトルク)の低減に向け、応力緩和用空隙部として、フレーム20外周部に応力緩和溝201やフレーム20内部に応力緩和穴202を設けた場合である。なお、応力緩和穴202は一部既存のボルト(若しくはネジ)穴と重なっている場合があるが、ボルト(若しくはネジ)穴と重複しないものも含むものである。これらのフレーム20に、図5に示すような、固定子鉄心(固定子コア)21の焼ばめを行い、図6に示すような、回転子を取り付け、コギングトルク波形の測定およびコギングトルク波形の周波数分析を実施した。

[0018] 図5に示すように、固定子鉄心21に固定子巻線22が巻回された、固定子スロット数が12の固定子本体を、フレーム20に焼きばめて固定子を構成している。固定子本体と共に永久磁石式回転電機本体を構成する回転子としては、図6に示すような、回転子鉄心32と永久磁石31とを備えた、回転子極数が8のものをを用いた。この極数の施工例が多いため、本実施の形態の例示として有意義であるからである。また、図示はしていないが、本実施の形態による回転電機は、回転子を軸方向の両側から回転自在に支持する負荷側および反負荷側ハウジングを備えている。

[0019] 図7にフレームの位置(角度 θ)とフレーム厚 $T(\theta)$ との関係を示す。ここで、フレーム20に穴等の空隙部がある場合には、その部分のフレーム厚は、最薄部すなわち、フレーム20の内周から穴等までの最短距離、をフレーム厚と定義した。

フレーム20に空隙部がある場合は、空隙部より外周部の熱収縮による固定子への圧縮応力の付与は、空隙部で変形が簡易に行われることから固定子への影響が軽微となる。勿論、空隙部周辺の部材の存在はこれを零とすることはないが、この寄与は空隙部を介さない場合に比べてずっと小さくなることから、簡易的に無視することができる。

[0020] 図7から明らかなように、フレーム20の位置を表す角度 θ は、フレーム20の内周の中心Oと、中心以外の任意の点R0を結ぶ線を基準とした中心点Oの周りの機械角度である。つまり、上記フレーム20の内周の中心Oと、中心以外の任意の点R0を結ぶ線を基準線とした場合、例えばフレーム20上の点R2でのフレーム厚は、中心Oから点R2までを結ぶ直線が上記基準線と反時計まわり方向になす角度 θ_2 を用いて $T(\theta_2)$ とする。図7では、フレームの位置(角度 θ)として、 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、 θ_4 (点R1

、R2、R3、R4に対応)の4箇所を例示している。

[0021] 図1～図4のフレーム平均厚 T_0 に対する各フレームの位置(θ)におけるフレーム厚($T(\theta)$)の百分率を図8～図11に示す。なお、図8～図11はフレームの対称性を考慮し、機械角度で 180° (180Degree)分のみを示した。図8～図11より、フレーム厚は、フレームの位置(角度 θ)により異なり、おおよそフレーム平均厚 T_0 の50%～250%の範囲で変動していることが分かる。

[0022] さて、フレーム20を焼きばめなどによって固定子(固定子コア21)に収縮締結させる場合、フレーム20と固定子の接触部分には相互に力Aが作用する。この力Aを内圧Aとして圧肉円筒内径を r_1 、外形を r_2 とすると、半径r部分に作用する半径方向応力Vは、次式となることが広く知られている。

[0023] [数3]

$$V = \frac{A r_1^2 \left(1 - \frac{r_2^2}{r^2} \right)}{r_2^2 - r_1^2}$$

[0024] つまり、半径方向応力は r^2 に逆比例関係となるため、rが外径 r_2 に近づくに伴い、応力は急減衰する。つまり、rが大きくなる部分での形状が多少変化しても、内圧A、すなわち固定子コア21に対する外圧Aに影響を及ぼさないと言い換えることができる。

[0025] このため、本実施の形態としては、有効フレーム厚として、以下のものを定義する。
有効フレーム厚とは、フレーム厚の不均一さが、固定子コア21の磁気特性分布に比較的影響を与えると考えられるフレーム厚のことである。

本実施の形態では、平均フレーム厚を T_0 とした場合、フレーム厚が $2T_0$ 以上の場合は、フレーム厚を $2T_0$ とする。

[0026] これは、フレーム20が、例えば他部品との固定のための連結部を有したり、あるいは放熱のためのフィンを有する場合、上述のように、固定子コア21の外径より遠く離れたフレーム部材は固定子コア21にほとんど締めつけ力を与えない。このようなフレーム部分を削除するためにフレーム厚を $2T_0$ とした。以下では、このように置き換えて

生成したフレーム厚を有効フレーム厚 $T(\theta)$ と呼ぶこととする。

つまり、このようなフレーム部分を削除しない場合には、例えば固定子コア21の外形より離れて突出した、本来コギングトルクに影響しないはずのフレーム部材形状により、後述するフーリエ級数展開係数の着目次数成分が大きくなり、フレーム厚のコギングトルクに及ぼす影響をみるために必要なフーリエ級数展開係数の着目次数の成分比を論議できなくなることなどが考えられるからである。

すなわち、実際のフレーム厚の代わりに、上記のような上限厚を設けたフレーム厚を使用することで、フレーム20の形状のフーリエ級数展開による次数分析精度を高めることができる。

[0027] 有効フレーム厚を上記のように定義した場合の、図1～図4のフレーム平均厚(有効フレーム厚の平均値)に対する各フレームの位置(θ)における有効フレーム厚($T(\theta)$)の百分率を図12～図15に示す。

[0028] 次に、フレーム厚(有効フレーム厚)の各成分とコギングトルクとの相関関係について検討するため、フレーム厚(有効フレーム厚)のフーリエ級数展開を実施した。フーリエ級数展開により、ある角度 θ におけるフレーム厚(有効フレーム厚) $T(\theta)$ は、次式となる。

[0029] [数4]

$$T(\theta) = \sum_{n=0}^{\infty} T_n \cos(n\theta + \phi_n) \quad (1)$$

[0030] 但し、 $n=0, 1, 2, 3, \dots$ とし、 T_n は $T(\theta)$ を(1)式のようにフーリエ級数展開した場合におけるフレーム厚の n 次成分の大きさ、 ϕ_n は位相とする。

また、固定子スロット数 $N_s (=12)$ と回転子磁極数 $N_p (=8)$ の差を $k (=|N_s - N_p| = 4)$ とした場合、フレーム厚(有効フレーム厚)の k 次($=4$ 次)成分 T_k と N_p 次($=8$ 次)成分 T_{N_p} の含有率の和 P は、次式で表すことができる。

[0031] [数5]

$$P = (T_k + T_{N_p}) / \sum_{n=0}^{\infty} T_n \times 100 [\%] \quad (2)$$

[0032] 図16では、有効フレーム厚の k 次(4次)成分 T_k と N_p 次(8次)成分 T_{N_p} との含有率の和 P と、1回転当たり8山のコギングトルク成分の関係を示している。

なお、表1および図16において、1回転当たり8山のコギングトルク成分としては、図1のフレーム20を基準とした場合の比で表している。

[0033] [表1]

フレーム形状	図1	図2	図3	図4
フレーム厚に基づく 4次と8次の含有率の和 [%]	22.4	12.3	11.2	6.8
有効フレーム厚に基づく 4次と8次の含有率の和 [%]	22.4	12.4	11.4	6.9
コギングトルク8山成分の比 (図1のフレームを基準とした 場合)	1.0	0.4	0.2	0.1

[0034] 表1および図16より、有効フレーム厚の4次成分と8次成分の含有率の和 P の増加に伴い、1回転当たり8山のコギングトルク成分も増加しており、 P と、1回転当たり8山のコギングトルク成分とに相関があることが分かる。したがって、コギングトルク低減のためには、 P を極力低減することが必要であることが分かる。

[0035] すなわち、本実施の形態の回転子磁極数 N_p が8、固定子スロット数 N_s が12の回転電機においては、有効フレーム厚の4次成分(極数とスロット数の差の成分すなわち k 次成分)および8次成分(N_p 次成分)の含有率の和を極力低減することより、1回転当たり8山のコギングトルク成分を抑制することが可能であることが分かる。

また、図16より、本実施の形態では、有効フレーム厚の4次成分と8次成分の含有率の和 P が略12%以下である場合に、1回転当たり8山のコギングトルク成分が急激に低下していることが分かる。

[0036] さらに、本実施の形態では、フレーム20は、 90° の回転対称性を有さない配置で応力緩和用空隙部を設けているので、つまり、フレーム厚(有効フレーム厚)の4次成分を形状的に与えないように構成しているので、 90° の回転対称性による4次成分が加算されることはない。その結果、上記コギングトルクを低減することができる。

[0037] なお、図16では有効フレーム厚をフーリエ級数展開した場合について示している

が、実際のフレーム厚をフーリエ級数展開してもよい場合もある。例えば、本実施の形態では、表1に示すように、4次成分と8次成分の含有率の和が実際のフレーム厚をフーリエ級数展開した場合と、有効フレーム厚をフーリエ級数展開した場合とで大差は無くほぼ同等となっている。すなわち、本実施の形態におけるフレーム形状は、ほぼフレーム有効厚と等価であると考えられる。このような場合には、実際のフレーム厚をフーリエ級数展開してもよい。

[0038] 以下、極数成分のコギングトルクに関係する固定子コアのフレーム厚成分が、極数とスロット数の差に対応した成分および極数の成分である理由について、詳細に説明を行う。

なお、ここで言う「フレーム厚」は「有効フレーム厚」のことを意味しているものとする。

[0039] まず、参考文献(後藤、小林;「直流モータのコギングトルクの解明と新しい低減方法」、電気学会論文誌B、Vol.103-B, p711-718, 1983)を基本とし説明を行う。電機子関数に非対称性がない場合(理想状態)においては、上記参考文献で示されているように、極数とスロット数の最小公倍数に対応した成分のコギングトルクが発生する。そこで、本実施の形態では、フレーム厚の不均一に起因して電機子関数(固定子パーミアンス)に変動が生じた場合について説明を行う。

[0040] まず、界磁関数については、上記参考文献と同様に、

[0041] [数6]

$$F^2(\varphi) = X_0/2 + \sum_{n=1}^{\infty} X_{np} \cos(nP\varphi + x_{np}) \quad (3)$$

[0042] とする。なお、Pは極数である(X_0 , X_{np} 等については参考文献と同様)。

[0043] 次に、電機子関数については、フレーム厚の不均一に起因して発生する電機子関数(固定子パーミアンス)の変動を考慮し、次式で表す。

[0044] [数7]

$$A(\varphi) = \left\{ E_0 + \sum_{n=1}^{\infty} E_n \cos(nS\varphi + \varepsilon_n) + E_k \cos(k\varphi + \gamma_k) \right\}^2 \quad (4)$$

[0045] なお、Sはスロット数であり、kおよび E_k は、フレーム厚の不均一さにより生じるパーミアンスの一回転当たりの脈動数と振幅である。(4)式を展開すると、

[0046] [数8]

$$\begin{aligned}
 A(\varphi) &= \left\{ E_0 + \sum_{n=1}^{\infty} E_n \cos(nS\varphi + \varepsilon_n) \right\}^2 \\
 &\quad + 2 \left\{ E_0 + \sum_{n=1}^{\infty} E_n \cos(nS\varphi + \varepsilon_n) \right\} E_k \cos(k\varphi + \gamma_k) \\
 &\quad + E_k^2 \cos^2(k\varphi + \gamma_k) \\
 &= Y_0 / 2 + \sum_{n=1}^{\infty} Y_{nS} \cos(nS\varphi + y_{nS}) \\
 &\quad + 2E_0 E_k \cos(k\varphi + \gamma_k) \\
 &\quad + 2E_k \sum_{n=1}^{\infty} E_n \cos(nS\varphi + \varepsilon_n) \cos(k\varphi + \gamma_k) \\
 &\quad + E_k^2 \cos^2(k\varphi + \gamma_k) \\
 &= \frac{1}{2} (Y_0 + E_k^2) + \sum_{n=1}^{\infty} Y_{nS} \cos(nS\varphi + y_{nS}) \\
 &\quad + 2E_0 E_k \cos(k\varphi + \gamma_k) + \frac{1}{2} E_k^2 \cos 2(k\varphi + \gamma_k) \\
 &\quad + E_k \sum_{n=1}^{\infty} E_n [\cos\{(nS + k)\varphi + \varepsilon_n + \gamma_k\} \\
 &\quad + \cos\{(nS - k)\varphi + \varepsilon_n - \gamma_k\}] \quad (5)
 \end{aligned}$$

[0047] となる。

ただし、

[0048] [数9]

$$\left\{ E_0 + \sum_{n=1}^{\infty} E_n \cos(nS\varphi + \varepsilon_n) \right\}^2 = Y_0/2 + \sum_{n=1}^{\infty} Y_{ns} \cos(nS\varphi + y_{ns})$$

(: 理想状態での電機子関数に対応)

[0049] とした。

(5)式の第1項、第2項は上記参考文献の(14)式と同様の形であり、この項と(3)式および次式のトルク算出式

[0050] [数10]

$$T(\theta) = -\frac{\partial}{\partial \theta} \int_0^{2\pi} \{F(\varphi)\}^2 \{A(\varphi - \theta)\}^2 d\varphi \quad (7)$$

[0051] により、工作誤差が無い状態においては、最小公倍数を基本波とするコギングトルクが発生することとなる(詳細の計算方法は上記参考文献に記載されているが、 $nP \neq mS$ の場合には(6)式が0となり、コギングトルクは発生しない。一方、 $nP = mS$ の場合には、(6)式は値を持ちコギングトルクが発生する。なお、 $nP = mS$ の場合とは、極数とスロット数の最小公倍数を基本波成分とするコギングトルクのことである)。

[0052] 同様に考えると、

A. (5)式の第3項と(3)式および(6)式から、 $k = nP$ の場合に、 nP 次(極数)成分のコギングトルクが発生する。

B. また、(5)式の第4項に関しては、 E_k はフレーム厚の不均一さにより生じる電機子関数(パーミアンス)の脈動は、電機子関数の基本波成分(E_1)等よりも小さいと仮定すると、無視できるものとする。

C. (5)式の第5項と(3)および(6)式により、

$nP = nS + k$ もしくは $nP = |nS - k|$ の場合、すなわち、

$k = |nP - mS|$ および $k = nP + mS$ の場合に、 nP 次成分のコギングトルクが発生す

ることとなる。

- [0053] 基本波成分($n=m=1$)が主成分であることを考慮すると、AおよびCより、P次成分のコギングトルクに起因するフレーム厚の成分とは、極数成分もしくは極数とスロット数の差および和となることが分かる。

つまり、極数が8、スロット数が12であるモータの場合、1回転当たり8山の振動成分(極成分)のコギングトルクと関係のあるフレーム厚成分とは、フレーム厚の4次成分・8次成分・20次成分となる。

一方、フレーム厚の不均一により生じる成分としては、低次成分の方が大きいと推測されるため、本発明では、極数とスロット数の差の成分と極数成分(4次成分および8次成分)の2つの成分に着目した。

- [0054] 以上説明したように、本実施の形態によれば、固定子スロット数 N_s が12、回転子極数 N_p が8であり、フレーム20の内周の中心Oと、中心以外の任意の点R0を結ぶ線を基準とした中心点Oの周りの機械角度 θ における有効フレーム厚 $T(\theta)$ を(1)式のように円周方向にフーリエ級数展開し、(2)式で示される有効フレーム厚 $T(\theta)$ のフーリエ級数展開係数の k 次(4次)成分 T_k と N_p 次(8次)成分 T_{N_p} の各含有率の和 P が12%以下となるように、フレーム20の一部に機械角度 90° の回転対称性を有さない配置で、応力緩和用空隙部201、202を設けて構成されているので、従来の、フレームをフィン有する形状にしてフィン底部のフレーム本体の肉厚を略均一にするのに比べて、機械角度 90° の回転対称性が不用であるため設計の自由度が増大し、深いフィンを多数形成しなくてもよく、平均的なフレーム厚を厚くすることが可能となるため、フレームの機械強度および工作性を改善することができる。なおかつ、フレーム形状に起因して発生する鉄心の磁気回路の歪からくるコギングトルクを低減することができる。

- [0055] なお、上記では金属製のフレーム20について説明したが、これに限るものではなく、固定子(固定子コア21)と同程度のヤング率を有するセラミック系材料や複合材料であってもよい。これは、以下の各実施の形態においても特に断らないが同様である。

- [0056] 実施の形態2.

図17は、本発明の実施の形態2によるフレームの一例を示す正面図である。

実施の形態1では、応力緩和用空隙部の一例として、フレーム外周部に応力緩和溝201を設けたが、本実施の形態のように、フレーム内周部に応力緩和溝201を設けることでも、有効フレーム厚のフーリエ級数展開係数の k 次成分(T_k)や N_p 次成分(T_{N_p})を低減することができ、これらの含有率の和が低減できるものと考えられる。

[0057] なお、応力緩和用空隙部として、実施の形態1で示したフレーム外周部に設けた応力緩和溝201、フレーム内部に設けた応力緩和穴202、および本実施の形態で示したフレーム内周部に設けた応力緩和溝201を混在させてもよいのは言うまでもない。

[0058] 実施の形態3.

図18は、本発明の実施の形態3によるフレームの一例を示す正面図である。

上記各実施の形態では、回転子の回転軸(あるいは、フレーム内周の中心軸)に直交する面での応力緩和溝201の断面形状が矩形状である場合を示したが、本実施の形態のように、上記面での応力緩和溝201の少なくとも一部を半円形もしくは略半楕円状のような曲線で構成することにより、応力緩和溝201での過度の応力集中を防止することができるものと考えられる。

[0059] また、同様に、実施の形態1で示したように、フレーム内周の中心軸に直交する面での応力緩和穴202の断面形状の少なくとも一部を円形もしくは略楕円状のような曲線で構成することにより、応力緩和穴202部での応力の過度集中を防止することができるものと考えられる。

[0060] 実施の形態4.

図19および図20は本発明の実施の形態4によるフレームの一例を示す斜視図および側面図である。

本実施の形態では、図に示したように、応力緩和穴として、フレーム部材を貫通した貫通穴202bと、貫通していない非貫通穴202aとを混在させている。このことにより、フレーム20の厚み、つまり回転軸方向の位置によって、フレーム厚のフーリエ級数展開係数の着目次数の含有率分布を制御することができる。このため、回転軸方向での平均値として得られるコギングトルクに関係する有効フレーム厚のフーリエ級数展開係数の k 次および N_p 次成分(4次および8次成分)以外の成分を増加方向に制御

させることができ、結果として有効フレーム厚のフーリエ級数展開係数の k 次成分および N_p 次成分の含有率を低減することができるものと考えられ、コギングトルクの更なる低減を図ることが可能となる。

[0061] なお、応力緩和溝201についても同様に、フレーム部材の一端から他端まで連続した(フレーム部材を貫通した)貫通溝と、フレーム部材の一端から他端までの一部のみに設けられた(フレーム部材を貫通していない)非貫通溝とを混在させてもよく、同様の効果が得られる。

[0062] なお、実施の形態1ないし4においては、フレーム内周の中心軸に直交する断面におけるフレーム20の外形を略正形状としたが、実施の形態1で詳述したように、有効フレーム厚を(4)式に示すようにフーリエ級数展開した場合の展開係数の次数を論議するため、フレームの外形状は正方形以外の矩形、略多角形あるいは楕円形であってもよい。つまり、固定子スロット数を N_s 、回転子磁極数を N_p 、両者の差を $k(=|N_s - N_p|)$ としたときに、(2)式で示される有効フレーム厚 $T(\theta)$ のフーリエ級数展開係数の k 次成分 T_k と N_p 次成分 T_{N_p} の各含有率の和 P が12%以下となるように、フレームの一部に 90° の回転対称性を有さない配置で、応力緩和用空隙部を設けて構成されていることが必要である。

請求の範囲

- [1] フレームを有し固定子スロット数 N_s が12である固定子と、該固定子の内部空間に配置され回転子極数 N_p が8である回転子とを備える回転電機において、上記フレームの内周の中心と、中心以外の任意の点を結ぶ線を基準とした上記中心点の周りの機械角度 θ におけるフレーム厚 $T(\theta)$ を(1)式のように円周方向にフーリエ級数展開し

[数1]

$$T(\theta) = \sum_{n=0}^{\infty} T_n \cos(n\theta + \phi_n) \quad (1)$$

(但し、 $n=0, 1, 2, 3, \dots$ 、 T_n は $T(\theta)$ を(1)式のようにフーリエ級数展開した場合におけるフレーム厚の n 次成分の大きさ、 ϕ_n は位相である。)

固定子スロット数 N_s と回転子磁極数 N_p との差を $k(=|N_s - N_p|)$ としたときに、(2)式で示されるフレーム厚 $T(\theta)$ のフーリエ級数展開係数の k 次成分 T_k と N_p 次成分 T_{N_p} の各含有率の和 P が12%以下となるように、上記フレームの一部に機械角度 90° の回転対称性を有さない配置で、応力緩和用空隙部を設けて構成されていることを特徴とする回転電機。

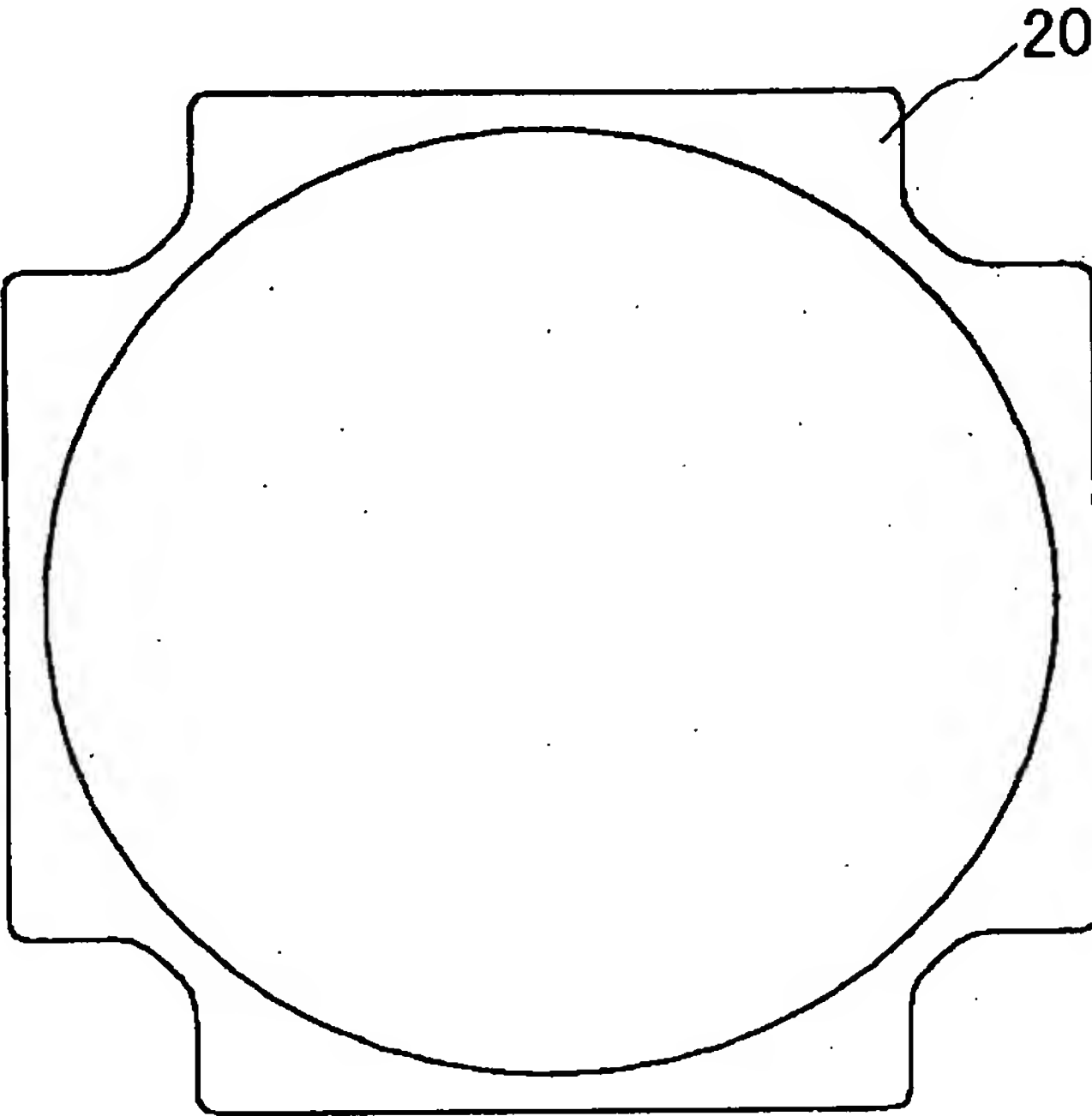
[数2]

$$P = (T_k + T_{N_p}) / \sum_{n=0}^{\infty} T_n \times 100 [\%] \quad (2)$$

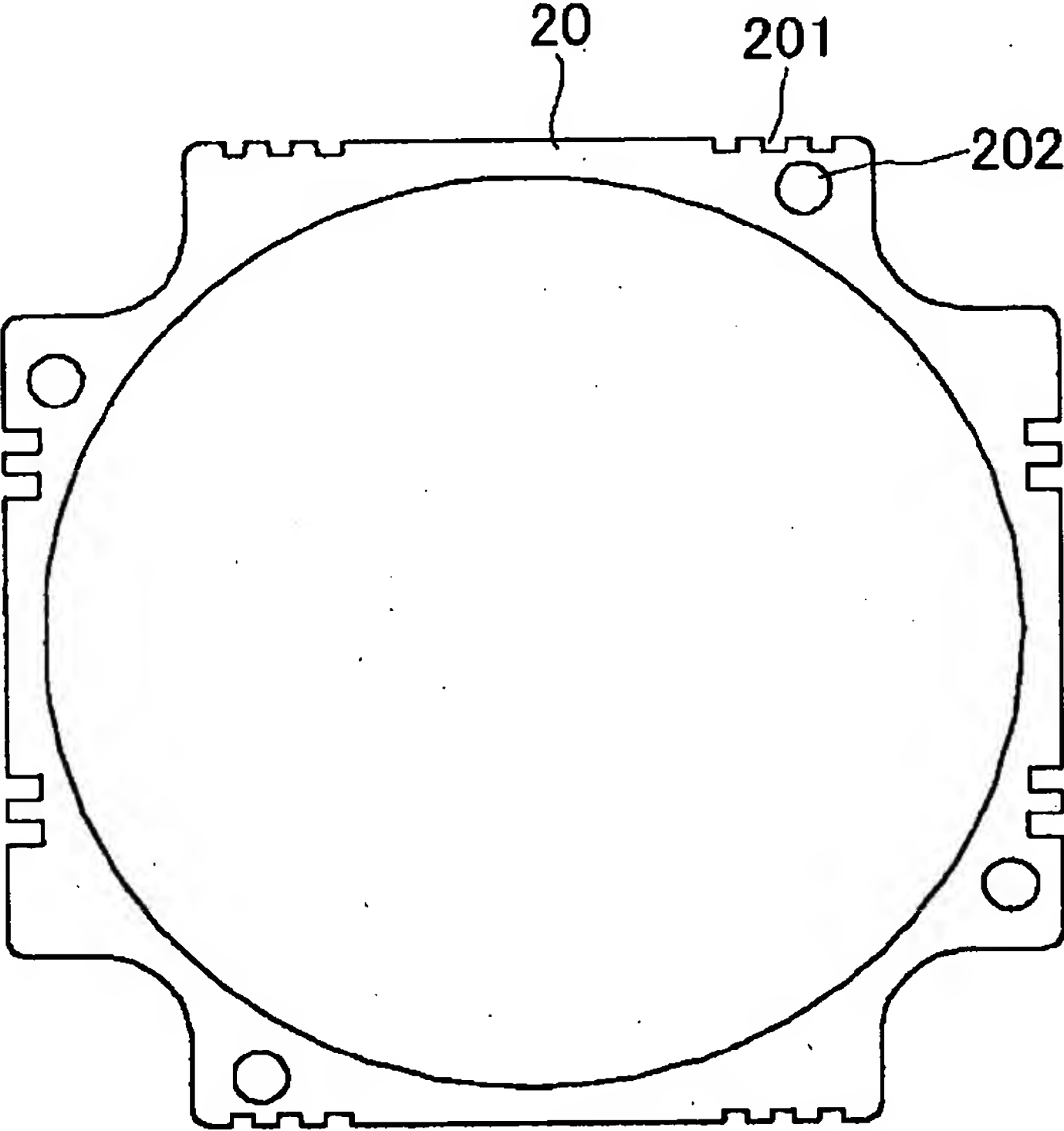
- [2] 平均フレーム厚を T_0 としたときに、フレーム厚 $T(\theta)$ を、その値が $2T_0$ 以上の場合にはこれを $2T_0$ に置換して形成した有効フレーム厚とし、フレーム厚の代わりに上記有効フレーム厚を円周方向にフーリエ級数展開することを特徴とする請求項1記載の回転電機。
- [3] 応力緩和用空隙部は、フレーム外周および内周に設けられた応力緩和溝、並びにフレーム内部に設けられた応力緩和穴のうちの少なくとも1つであることを特徴とする請求項1記載の回転電機。

- [4] フレーム内周の中心軸に直交する面での応力緩和用空隙部の断面形状は、少なくとも一部が曲線で構成されていることを特徴とする請求項1記載の回転電機。
- [5] 応力緩和用空隙部はフレーム部材を貫通したものと、貫通していないものが混在することを特徴とする請求項1記載の回転電機。
- [6] フレーム内周の中心軸に直交する断面における上記フレームの外形が略正形状であることを特徴とする請求項1記載の回転電機。

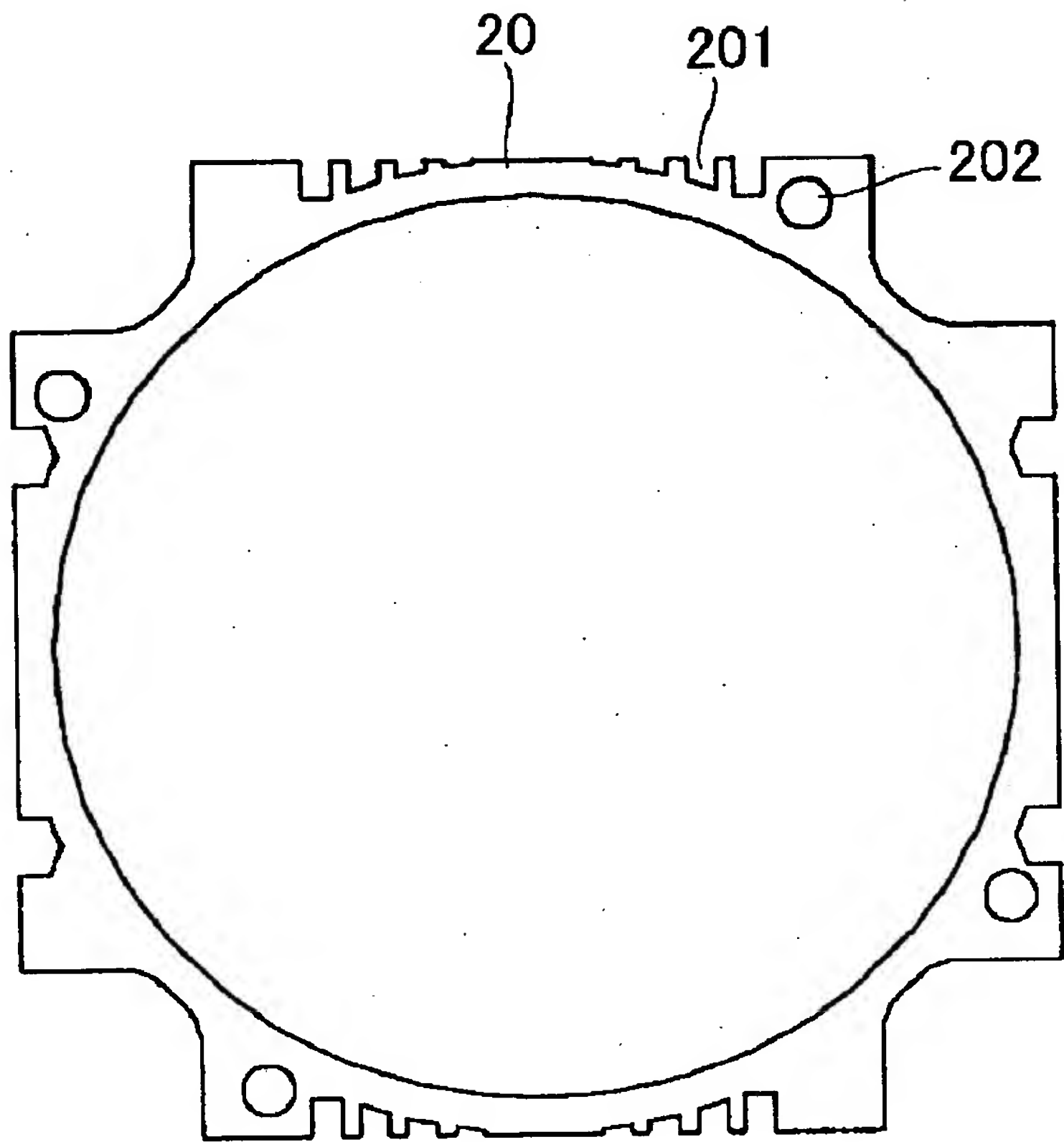
[図1]



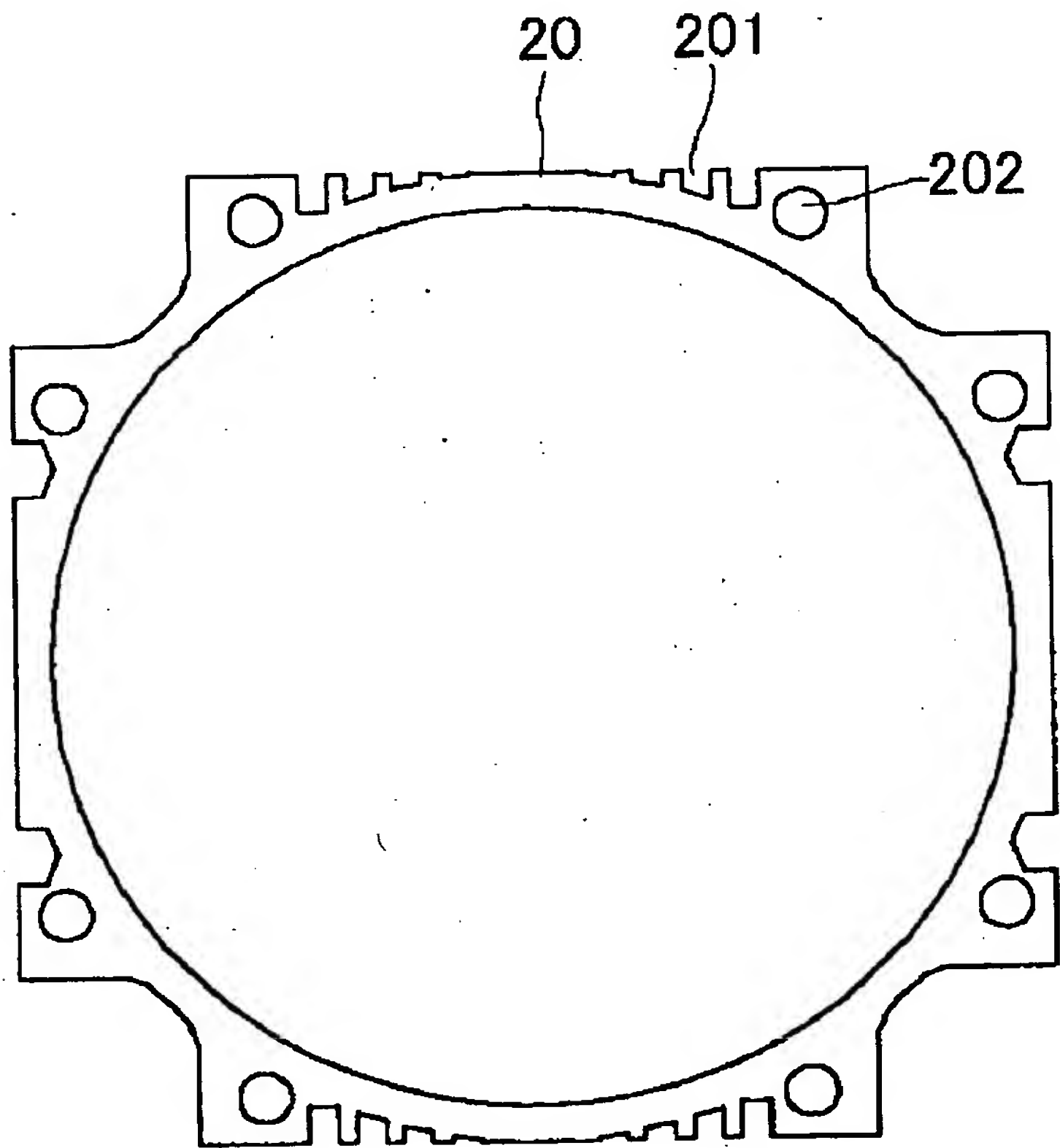
[図2]



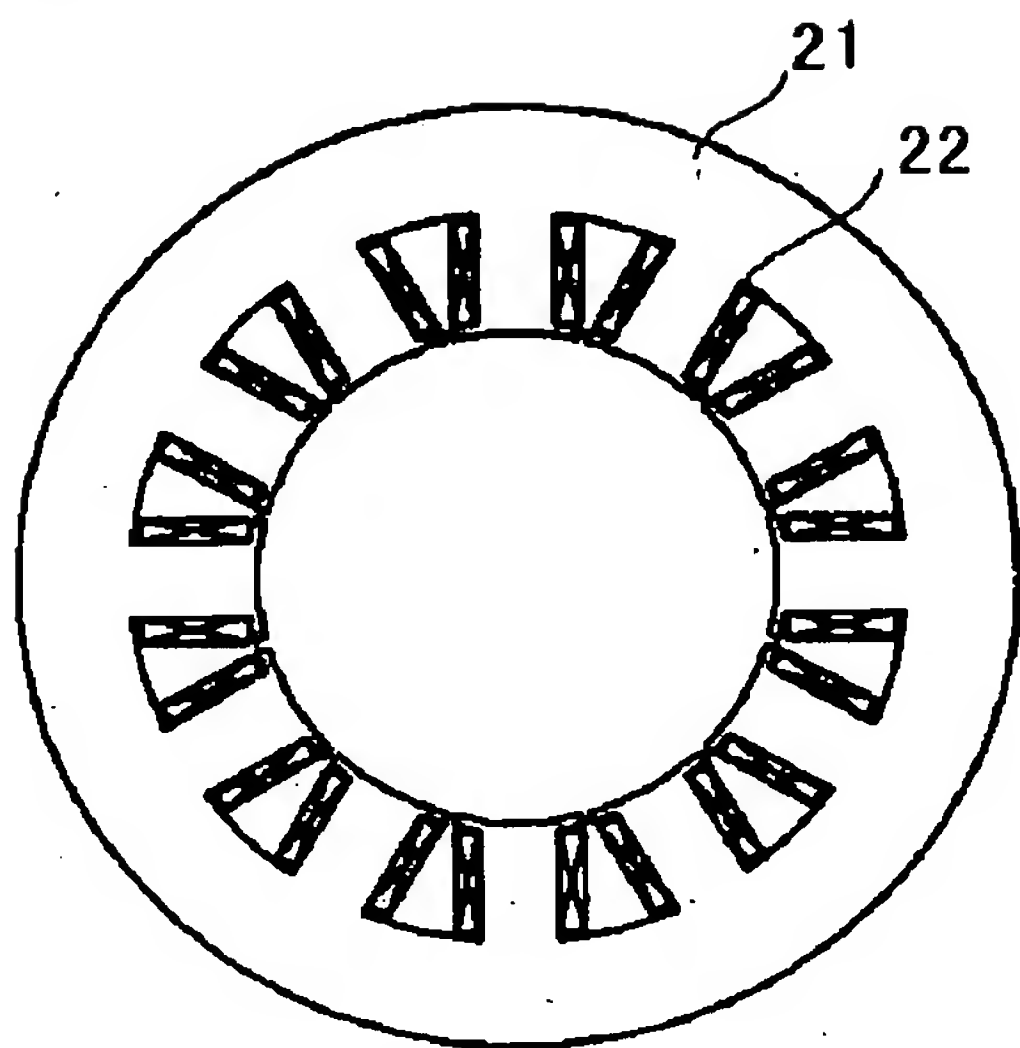
[図3]



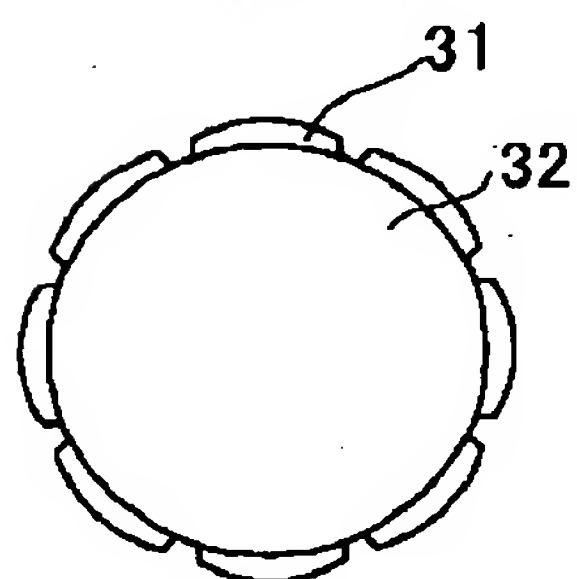
[図4]



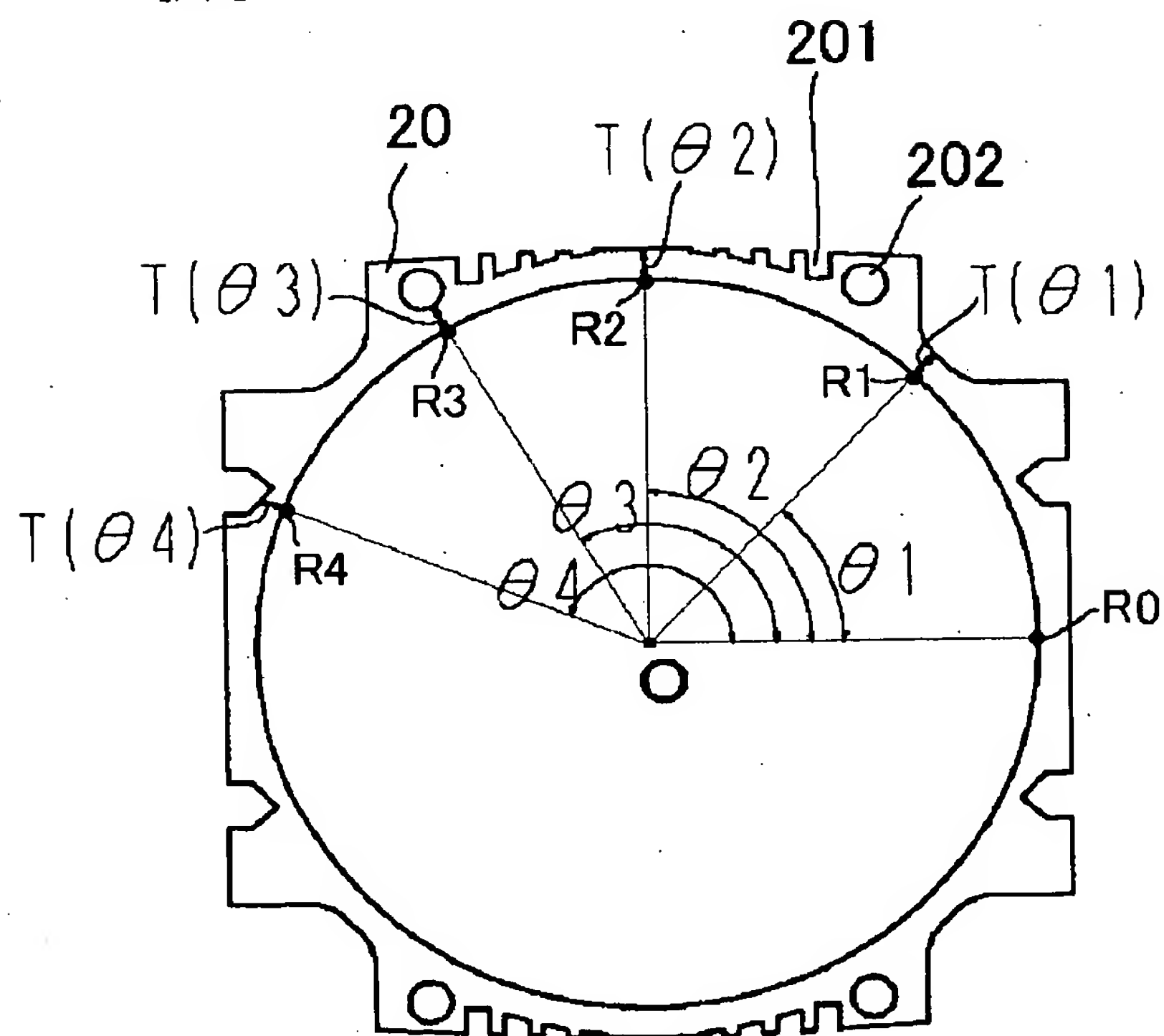
[図5]



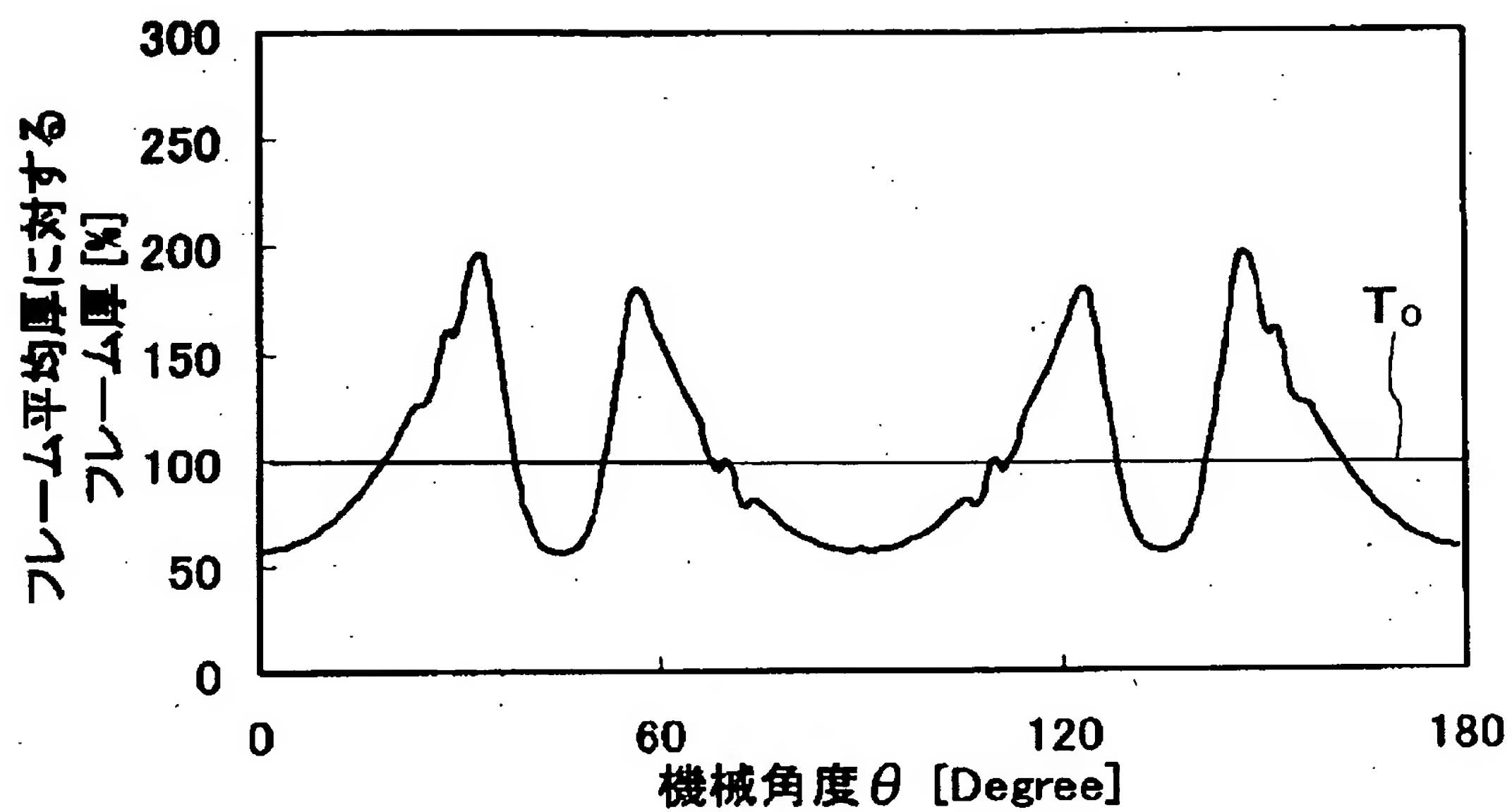
[図6]



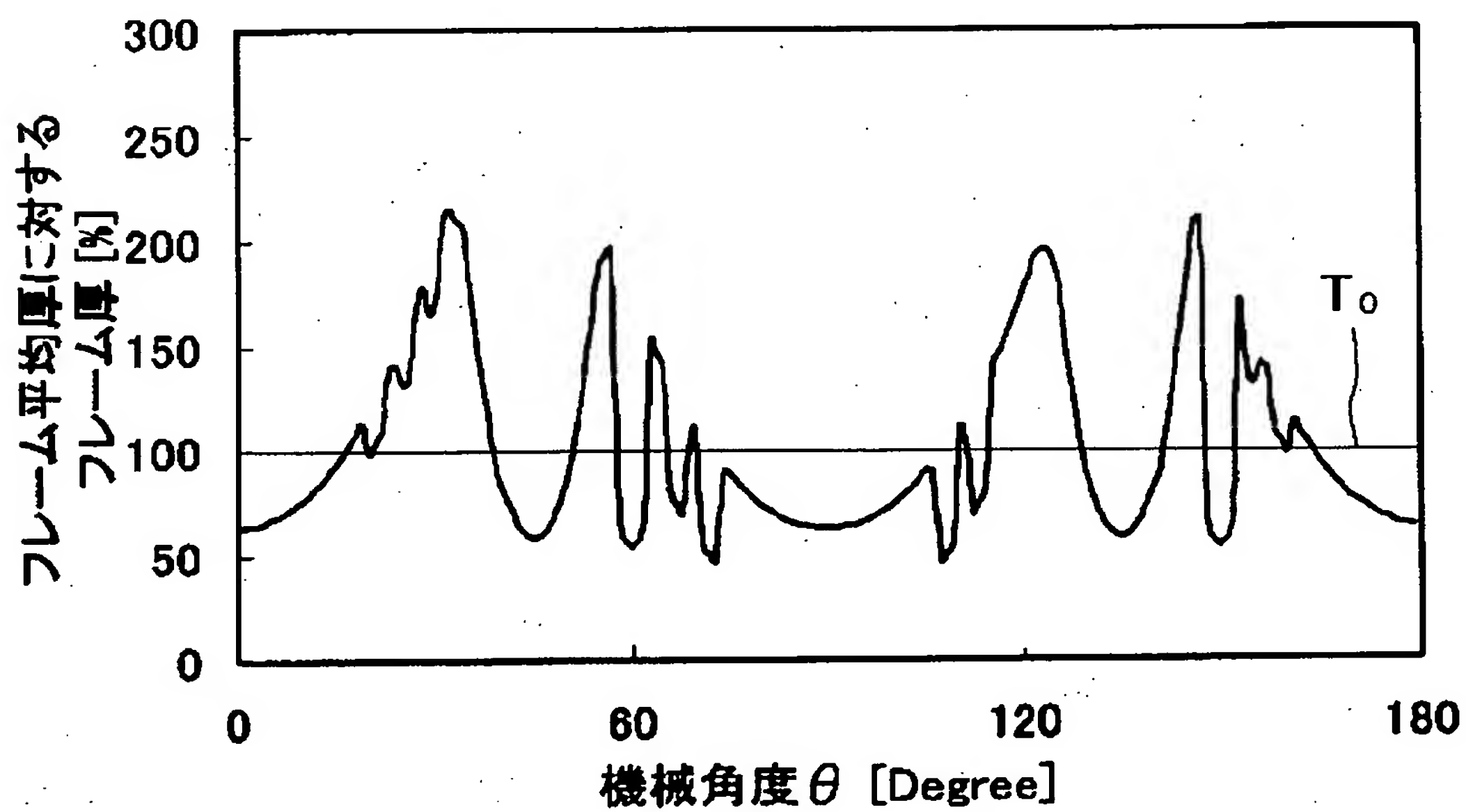
[図7]



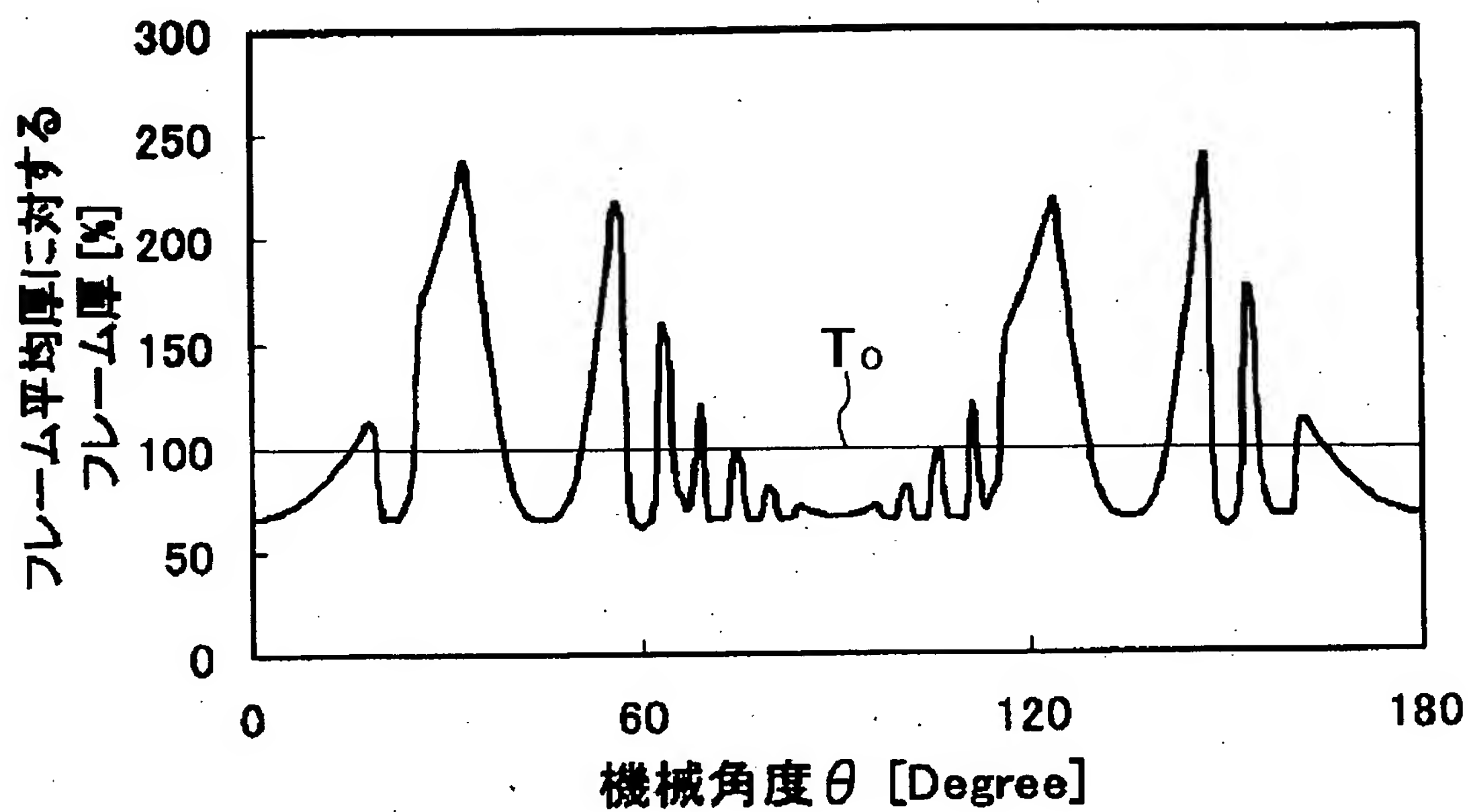
[図8]



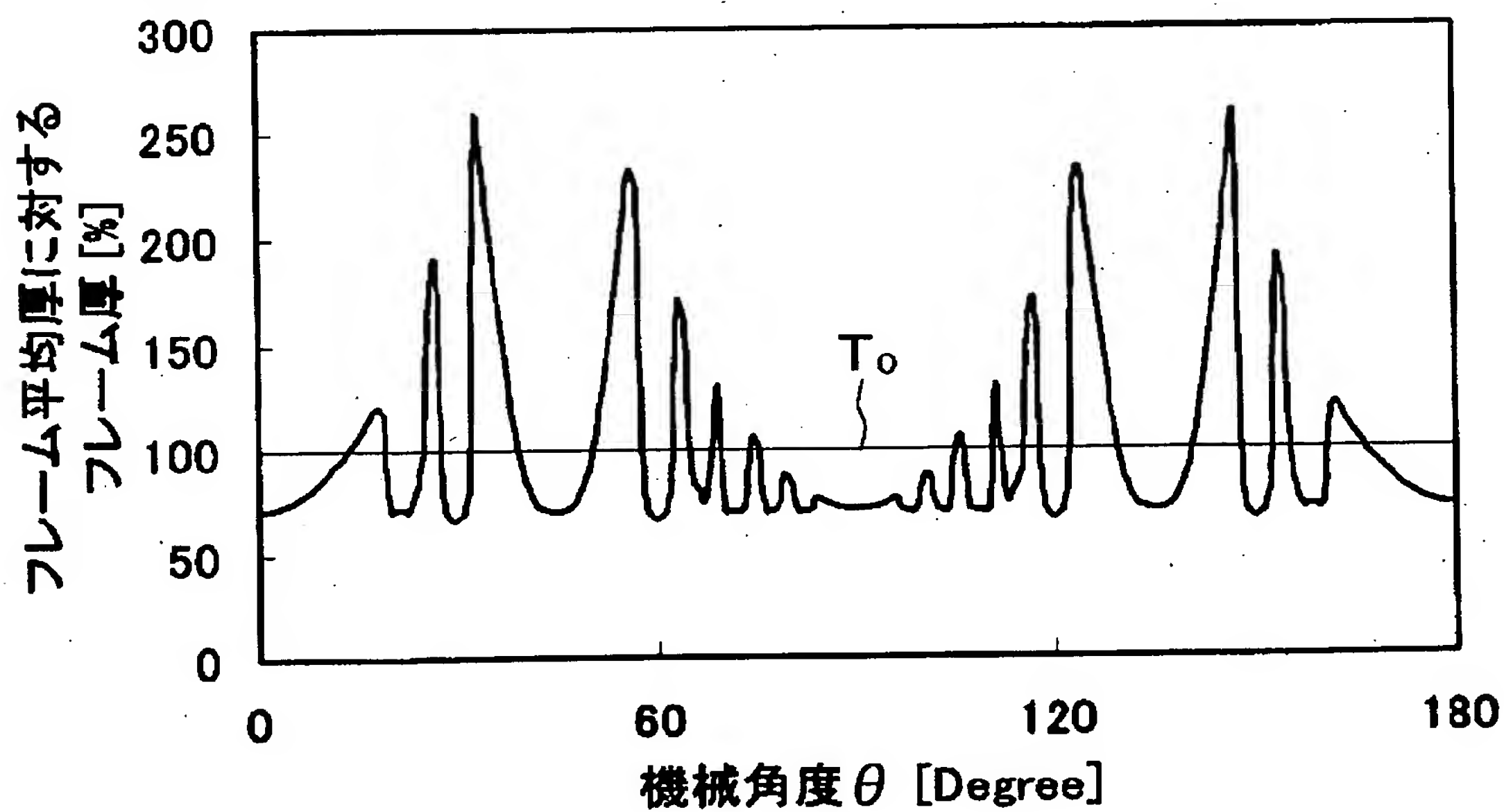
[図9]



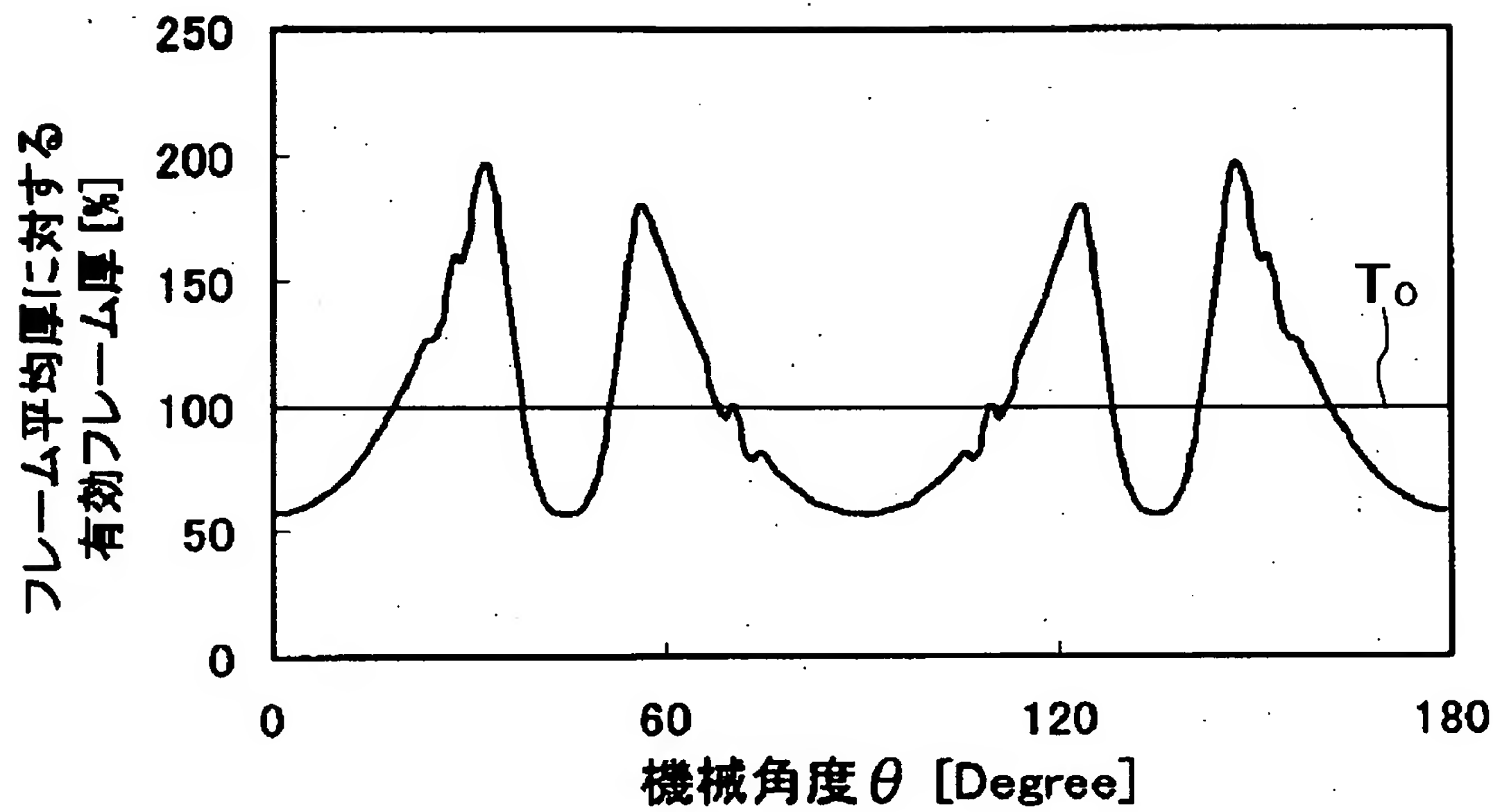
[図10]



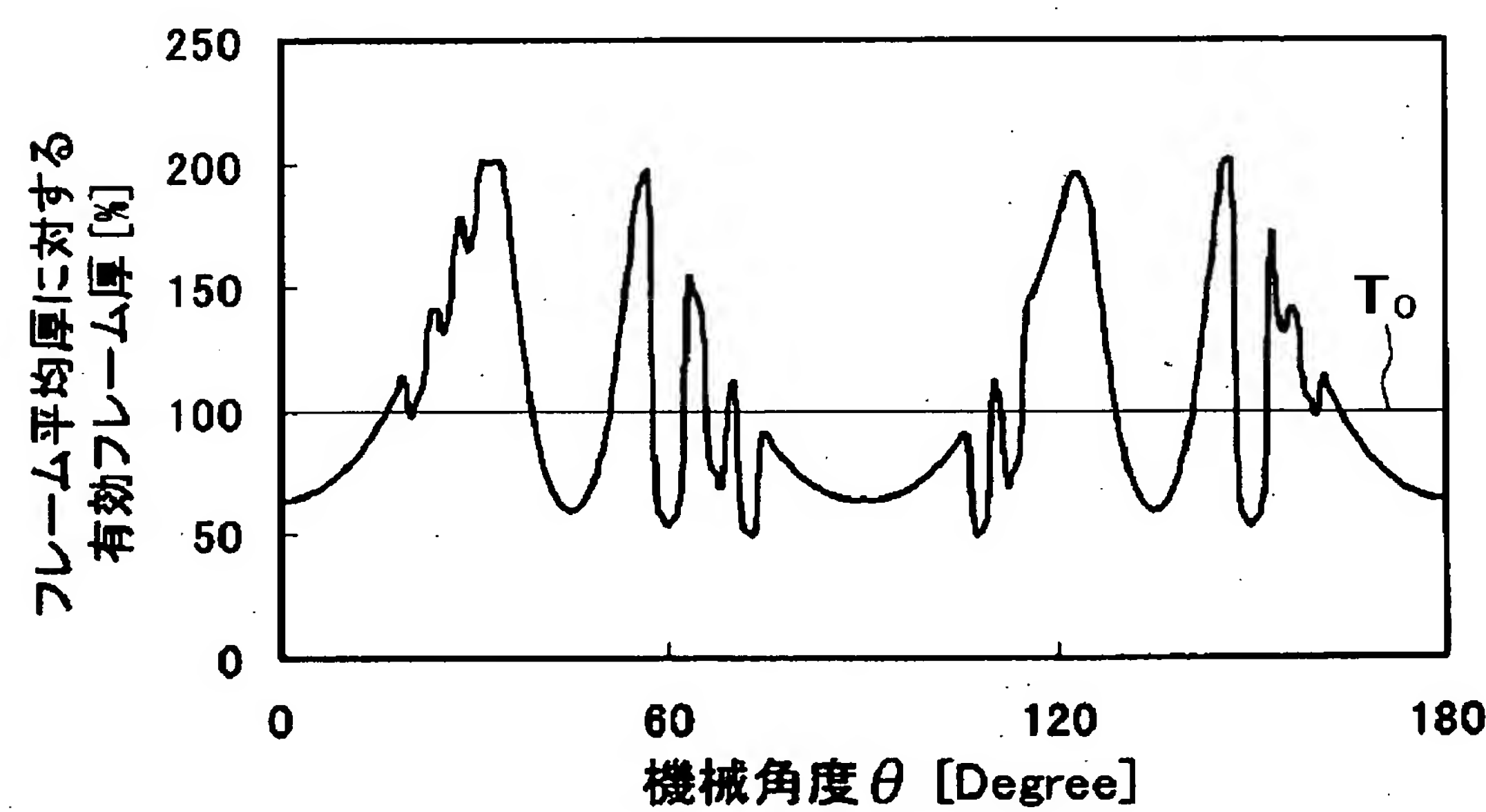
[図11]



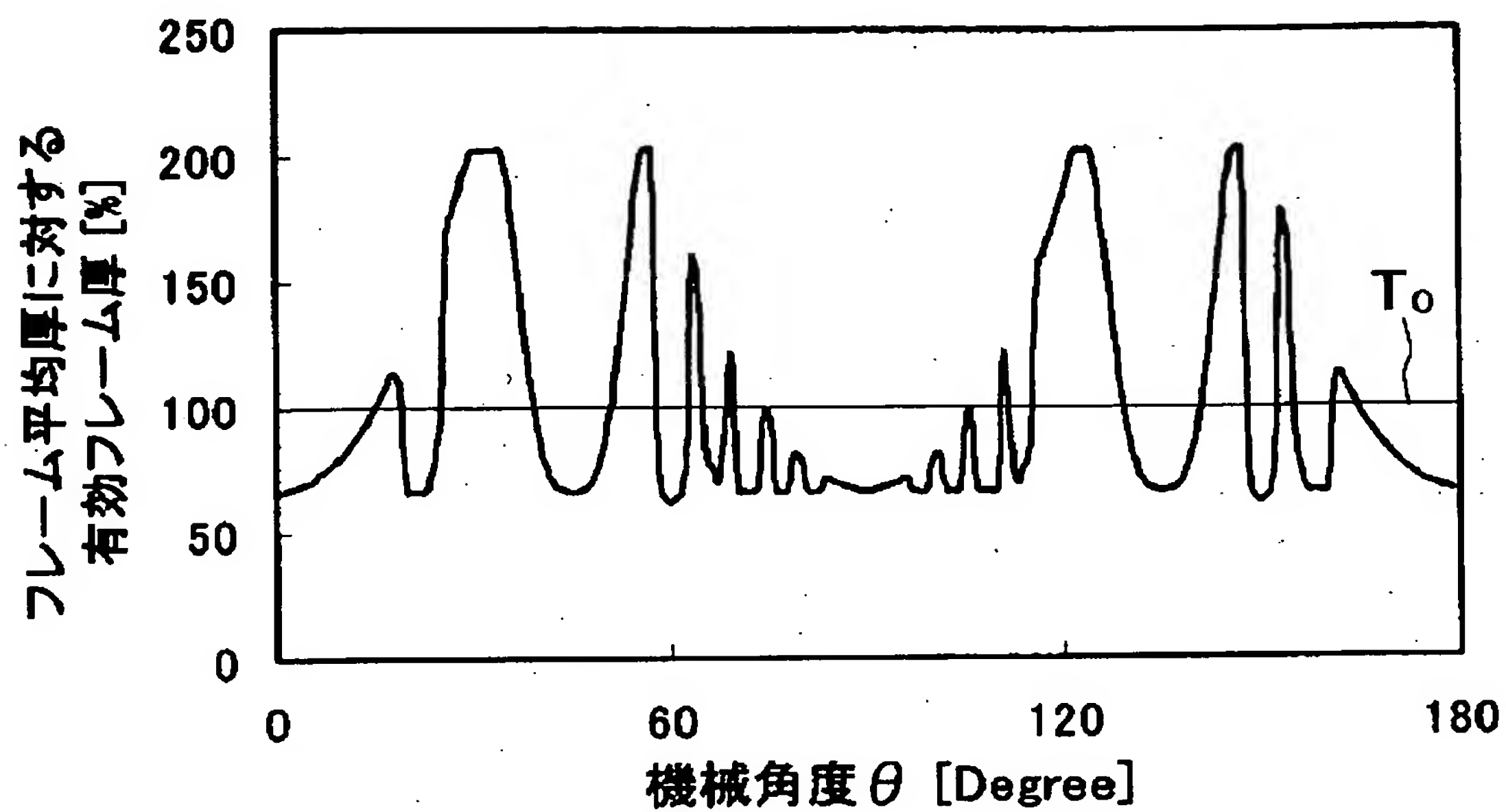
[図12]



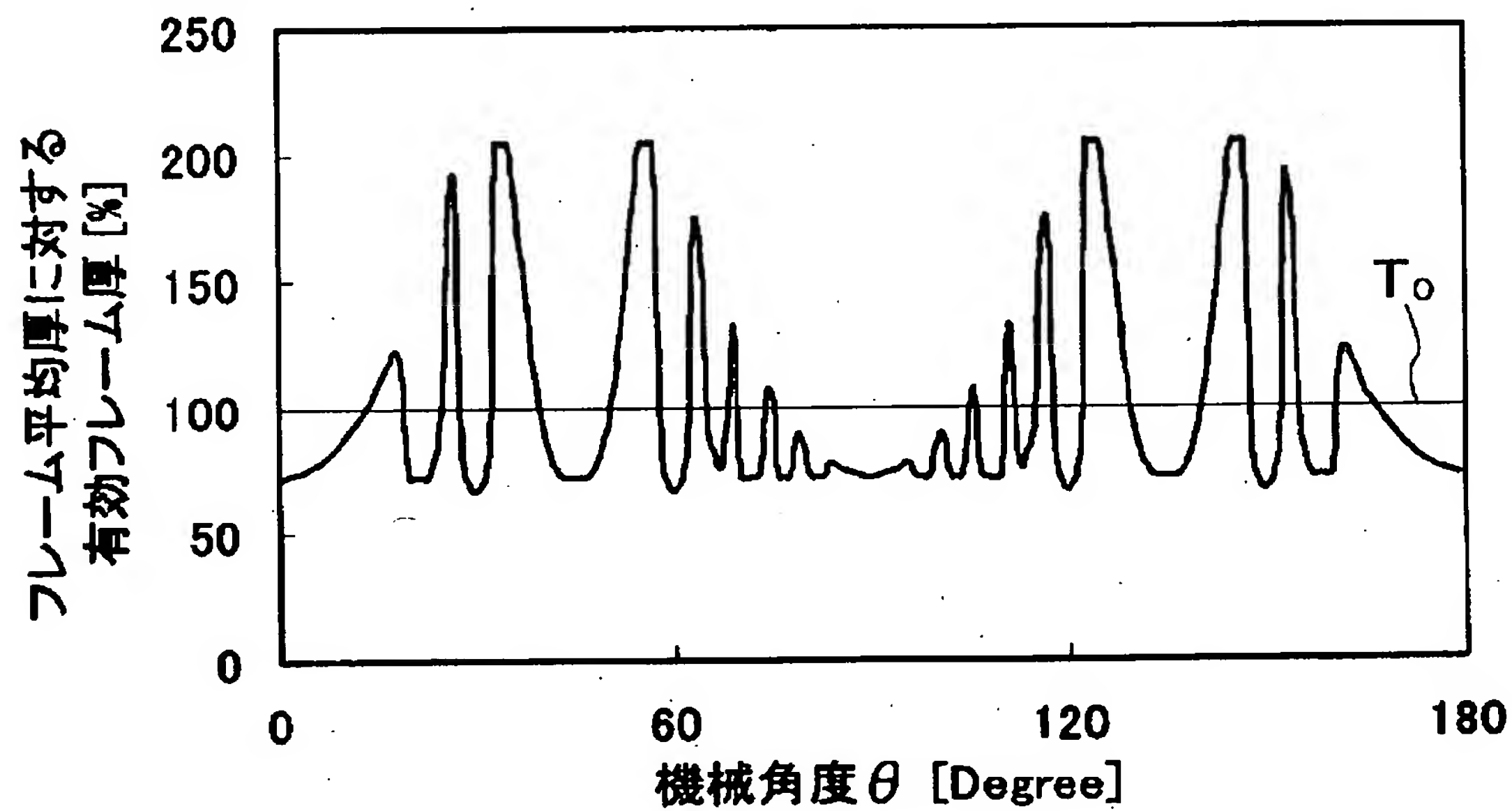
[図13]



[図14]

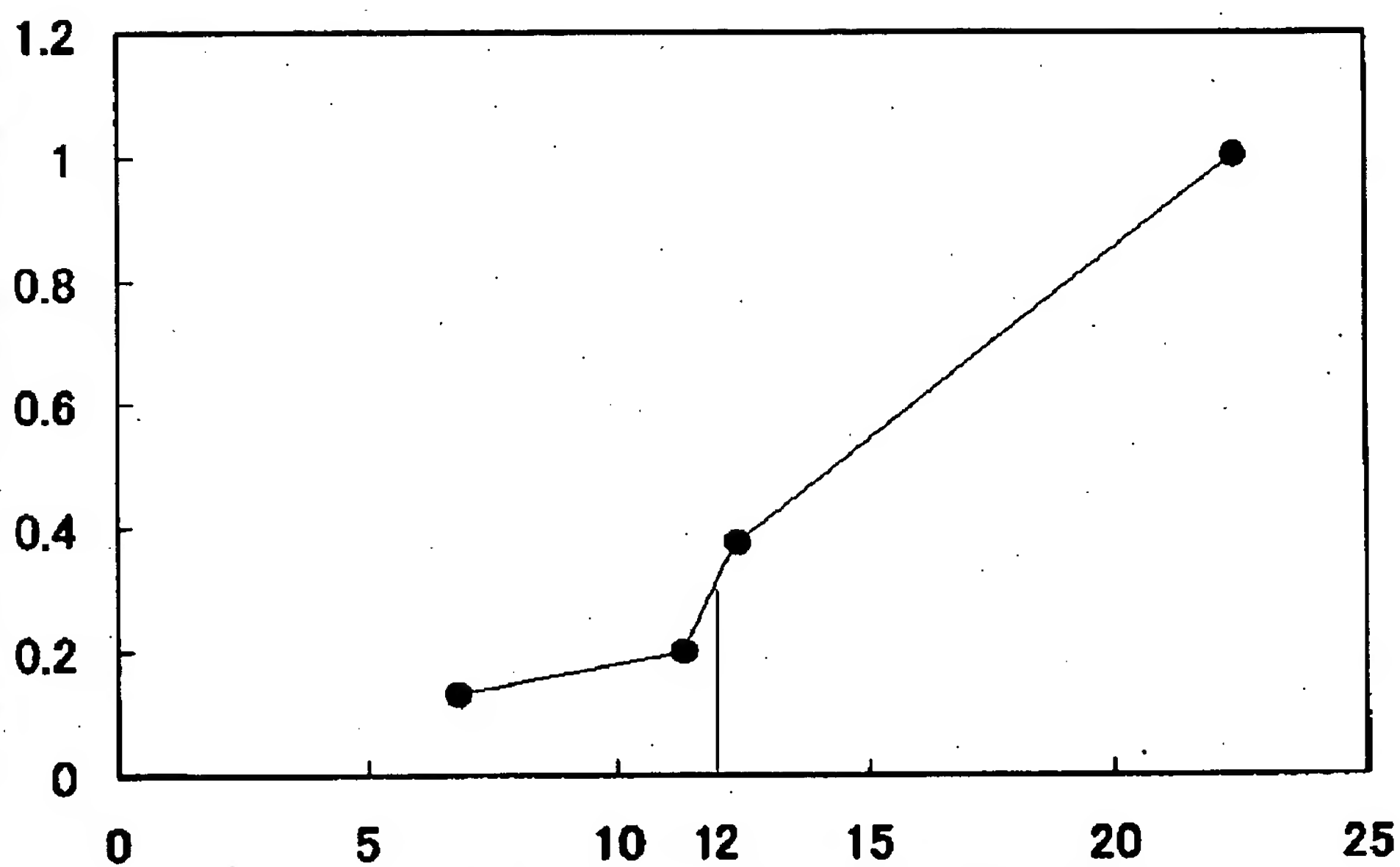


[図15]



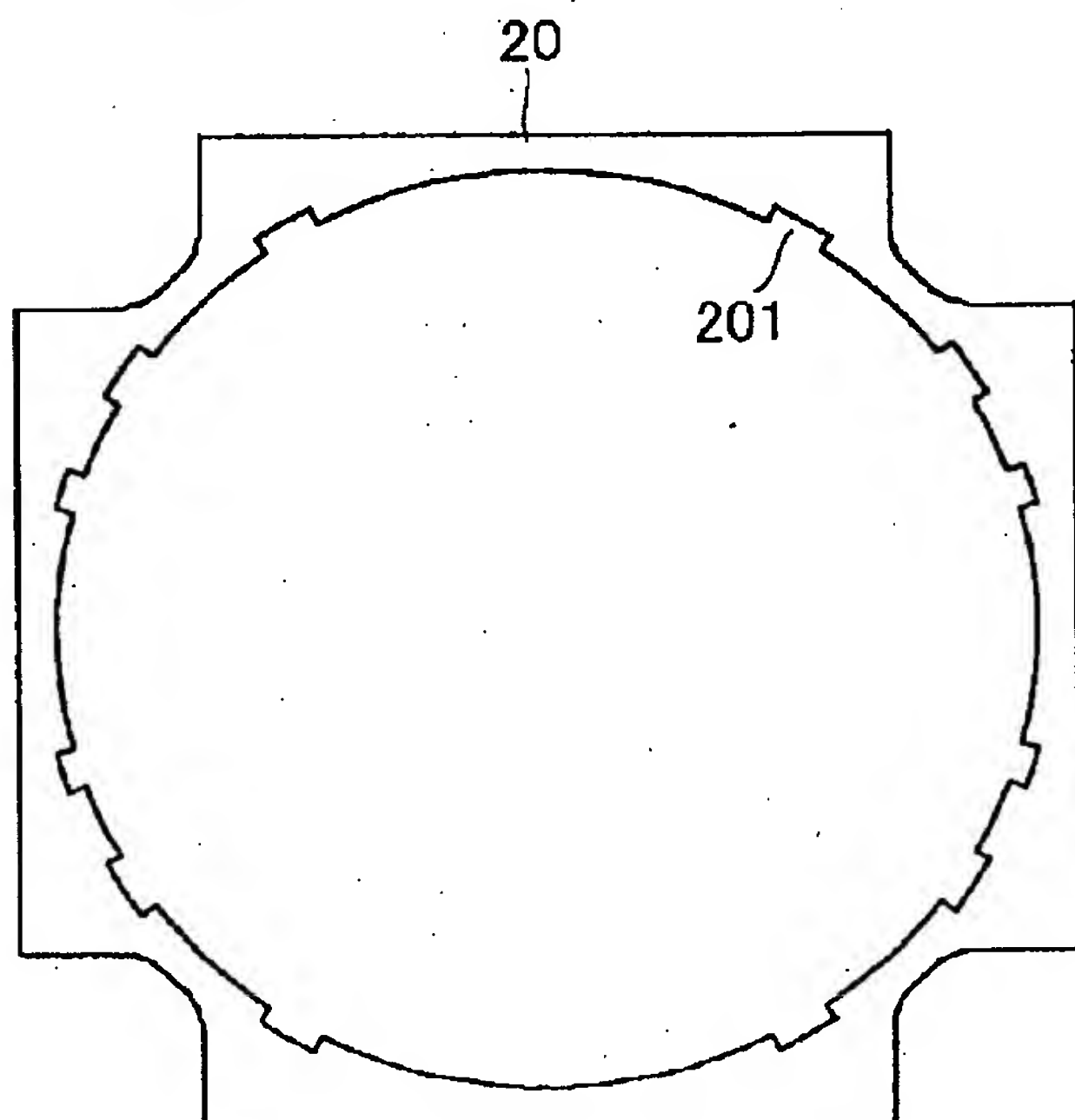
[図16]

1回転当たり8山のコギングトルク成分の比
(図1のフレームを基準とした場合)

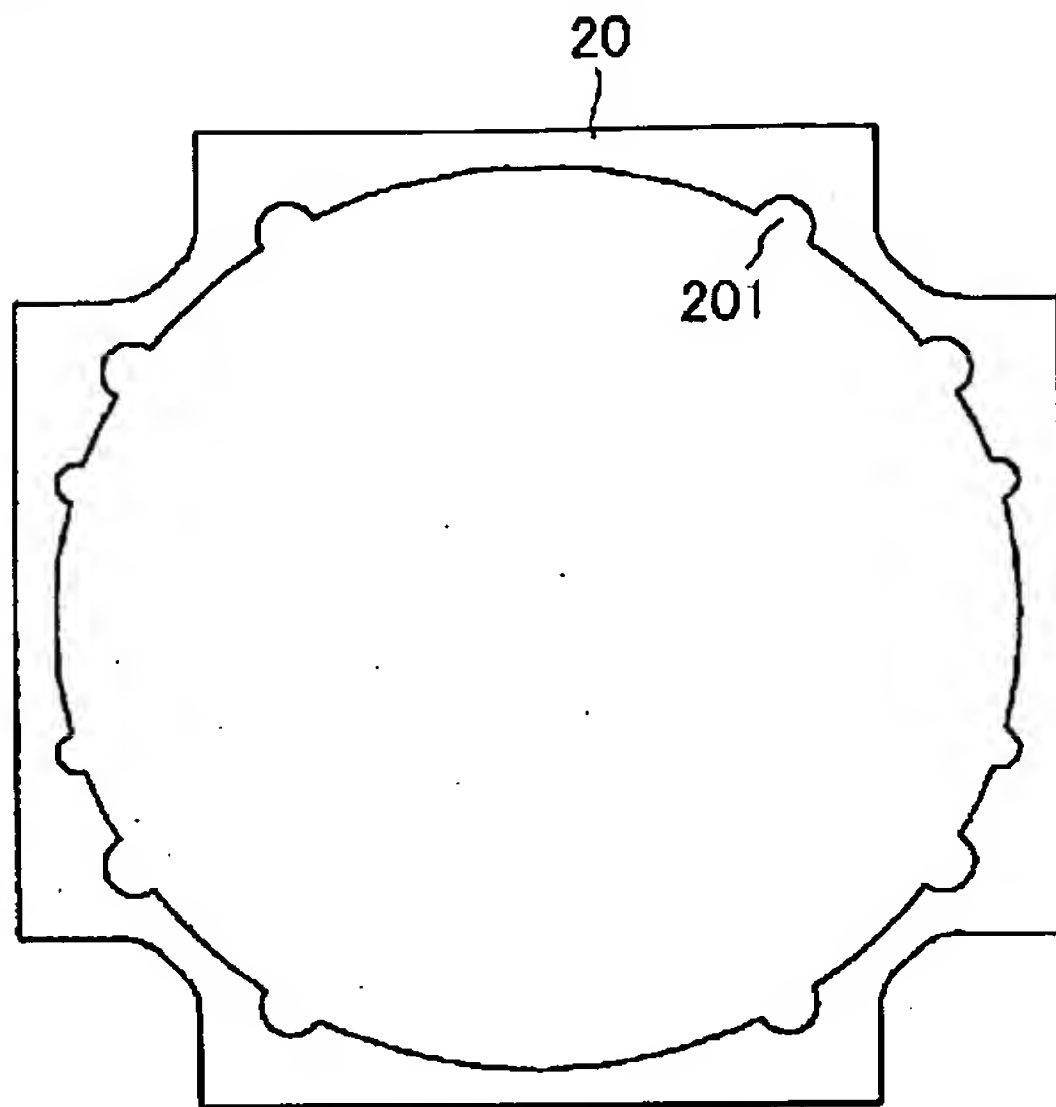


フレーム厚さのフーリエ級数展開係数の
K次成分含有率とNp次成分含有率の和 P [%]

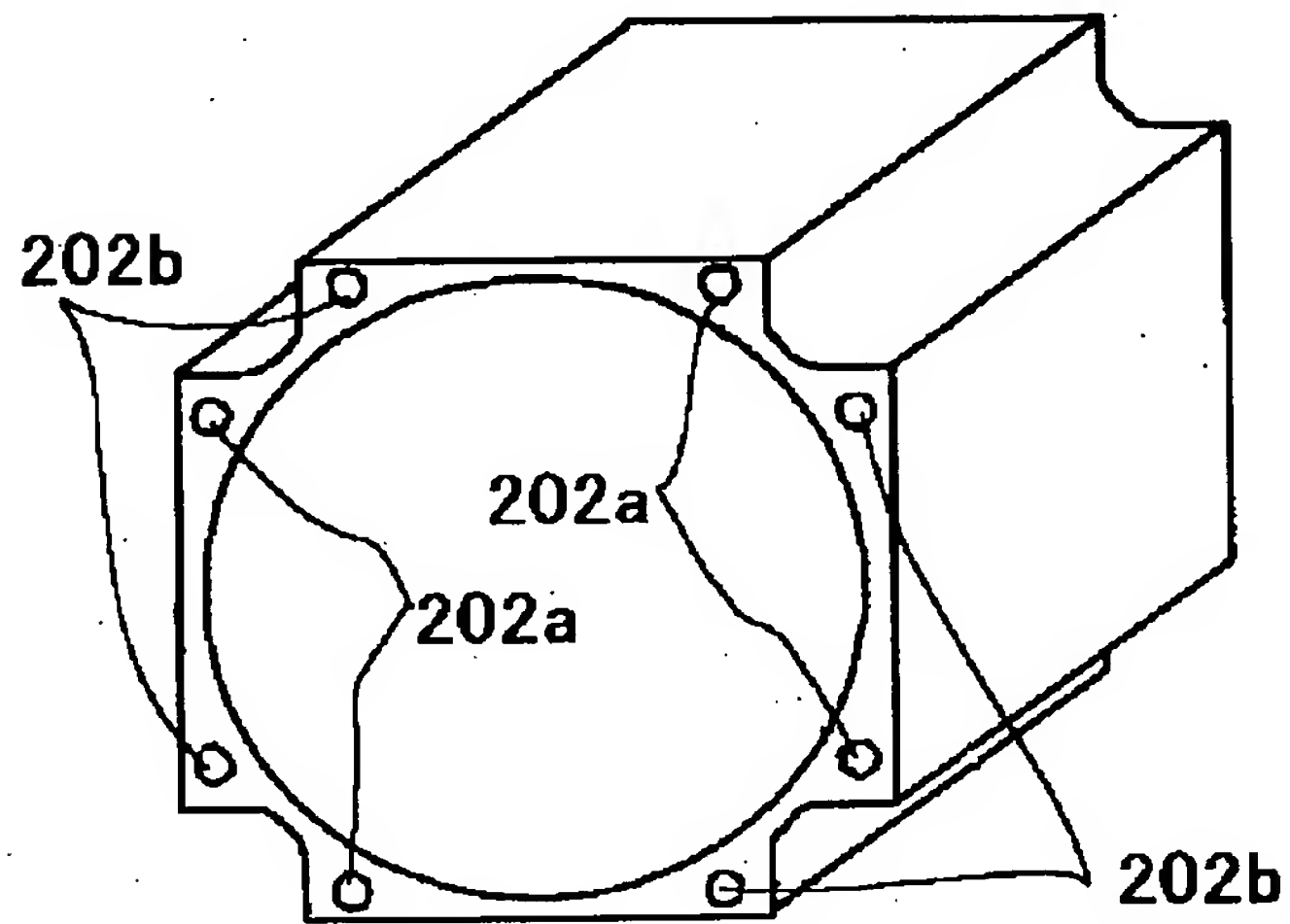
[図17]



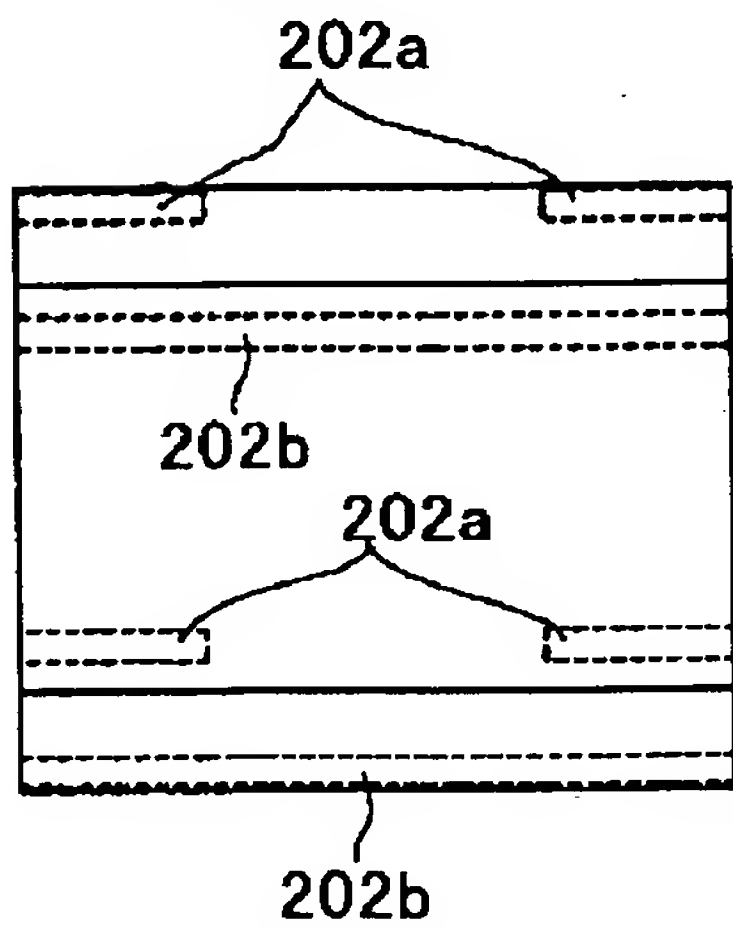
[図18]



[図19]



[図20]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/011253

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H02K5/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H02K5/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2001-95199 A (Yaskawa Electric Corp.), 06 April, 2001 (06.04.01), All pages (Family: none)	1-6
A	JP 2002-359958 A (Minebea Co., Ltd.), 13 December, 2002 (13.12.02), Par. Nos. [0033] to [0034]; Fig. 7 & EP 001263121 A2 & US 2002-0180282 A1	1, 2

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
30 August, 2004 (30.08.04)

Date of mailing of the international search report
14 September, 2004 (14.09.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.